

TUGAS AKHIR – TL184834

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR *CURING* DAN FRAKSI MASSA Al_2O_3 DAN $Na_2(SiO_2)_x \cdot (H_2O)_x$ TERHADAP DAYA LEKAT DAN KONDUKTIVITAS TERMAL *SKIN BARRRIER LAMINATED CFRP*

SERLY HARDIYANTI
NRP. 02511840000036

Dosen Pembimbing
Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T.
198902132020122016
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
197906202006042001

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



TUGAS AKHIR – TL184834

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR *CURING* DAN FRAKSI MASSA Al_2O_3 DAN $Na_2(SiO_2)_x \cdot (H_2O)_x$ TERHADAP DAYA LEKAT DAN KONDUKTIVITAS TERMAL SKIN *BARRRIER LAMINATED CFRP*

SERLY HARDIYANTI
NRP. 02511840000036

Dosen Pembimbing
Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T.
198902132020122016
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
197906202006042001

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL184834

**ANALYSIS THE EFFECT OF CURING TEMPERATURE AND
MASS FRACTION OF Al_2O_3 AND $Na_2(SiO_2)_x \cdot (H_2O)_x$ ON
ADHESIVE STRENGTH AND THERMAL CONDUCTIVITY OF
LAMINATED SKIN BARRIER CFRP**

**SERLY HARDIYANTI
NRP. 02511840000036**

Advisor
**Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T.
198902132020122016
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
197906202006042001**

**Study Program of Materials Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022**

(This page is intentionally blank)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR *CURING* DAN FRAKSI MASSA Al_2O_3 DAN $Na_2(SiO_2)_x \cdot (H_2O)_x$ TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KONDUKTIVITAS TERMAL *SKIN BARRIER LAMINATED CFRP*

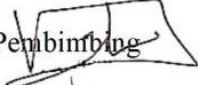
TUGAS AKHIR

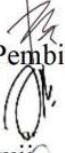
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **SERLY HARDIYANTI**
NRP. 0251184000036


Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T.
2. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
3. Azzah Dyah Pramata, S.T.,M.T.,M.Eng.,PhD.
4. Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si.


Pembimbing


Ko-Pembimbing


Penguji


Penguji

SURABAYA
Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS THE EFFECT OF CURING TEMPERATURE AND MASS FRACTION OF Al_2O_3 AND $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ ON ADHESIVE STRENGTH AND THERMAL CONDUCTIVITY OF LAMINATED SKIN BARRIER CFRP

FINAL PROJECT


Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree of bachelor of engineering at
Undergraduate Study Program of Materials Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


By : **SERLY HARDIYANTI**
NRP. 02511840000036


Approved by Final Project Examiner Team :

1. Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T.
2. Dr. Widyastuti, S.T., M.T.
3. Azzah Dyah Pramata, S.T.,M.T.,M.Eng.,PhD.
4. Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si.


Advisor


Co-Advisor


Examiner


Examiner

SURABAYA
July, 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

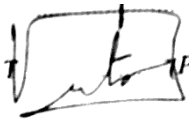
Nama mahasiswa/NRP : Serly Hardiyanti/02511840000036
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing/NIP : Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T./198902132020122016

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR *CURING* DAN FRAKSI MASSA Al_2O_3 DAN $Na_2(SiO_2)_x.(H_2O)_x$ TERHADAP DAYA LEKAT DAN KONDUKTIVITAS TERMAL *SKIN BARRIER LAMINATED CFRP*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 5 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T.)
NIP. 198902132020122016

Mahasiswa



(Serly Hardiyanti)
NRP. 02511840000036

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

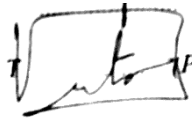
Name of student/NRP : Serly Hardiyanti/02511840000036
Departement : Maerial and Metallurgical Engineering
Advisor/NIP : Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T./198902132020122016

Hereby declare that the Final Project with the title of “ANALYSIS THE EFFECT OF CURING TEMPERATURE AND MASS FRACTION OF Al_2O_3 AND $Na_2(SiO_2)_x.(H_2O)_x$ ON ADHESIVE STRENGTH AND THERMAL CONDUCTIVITY OF LAMINATED SKIN BARRIER CFRP” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing..

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 5th 2022

Acknowledged
Advisor



(Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T.)
NIP. 198902132020122016

Student



(Serly Hardiyanti)
NRP. 02511840000036

(This page is intentionally blank)

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR CURING DAN FRAKSI MASSA Al_2O_3 DAN $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x(\text{H}_2\text{O})_x$ TERHADAP DAYA LEKAT DAN KONDUKTIVITAS TERMAL SKIN BARRIER LAMINATED CFRP

Nama Mahasiswa / NRP : Serly Hardiyanti / 0251184000036
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

Abstrak

Industri dirgantara secara kontinu berupaya meningkatkan performa pesawat dari segi struktur material. Bahan komposit berperan penting dalam komponen kedirgantaraan karena memiliki sifat yang unggul. Namun, jika matriksnya terbuat dari polimer ketika terpapar temperatur tinggi, matriks organik terurai. Sehingga diperlukan lapisan pelindung termal. Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan *Skin Barrier* (SB) keramik Al_2O_3 dengan binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x(\text{H}_2\text{O})_x$ sebagai lapisan perlindungan komposit *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) sebagai preparasi untuk proses lanjutan *Thermal Barrier Coating* (TBC). Metode dilakukan adalah *hot pressing* yaitu pemberian tekanan dan pemanasan pada spesimen secara bersamaan. Dalam penelitian ini dianalisis pengaruh fraksi massa perbandingan antara keramik Al_2O_3 dengan binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x(\text{H}_2\text{O})_x$ adalah 1:2,5; 1:2,75; dan 1:3 serta temperatur proses *hot pressing* 100°C, 130°C, dan 160°C. Selanjutnya dianalisis pengaruhnya terhadap daya lekat dan konduktivitas termal dari struktur lapisan *skin barrier*. Karakterisasi material yang dilakukan adalah *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Thermal Conductivity Meter* (TCM), *Pull-off test*, *Thermogravimetric Analysis* (TGA), dan *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Hasil analisis menunjukkan *skin barrier* dengan fraksi massa keramik dan binder 1:2,5; 1:2,75; 1:3 yang diberi perlakuan *hot press* pada temperatur 130°C dan 160°C serta fraksi 1:3 pada temperatur 100°C sesuai dengan kualifikasi. Dengan konduktivitas termal material terendah adalah SB160/3 yaitu 0,1605 W/mK yang menyebabkan penurunan temperatur dari 500°C ke 46,45°C dan untuk daya lekat terbaik ketiga spesimen pada masing-masing temperatur adalah komposisi 1:2,75 dengan nilai daya lekat optimum pada spesimen SB100/2,75 yaitu 0,797 MPa.

Kata Kunci: *Alumina, Binder, CFRP, Daya lekat, Hot pressing, Konduktivitas termal*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALYSIS THE EFFECT OF CURING TEMPERATURE AND MASS FRACTION
OF Al₂O₃ AND Na₂(SiO₂)_x.(H₂O)_x ON MECHANICAL PROPERTIES AND
THERMAL CONDUCTIVITY OF LAMINATED SKIN BARRIER CFRP**

Student Name / NRP : Serly Hardiyanti / 02511840000036
Departement : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Advisor : Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T./1989201812021
Co-Advisor : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

Abstract

The aerospace industry continuously strives to improve aircraft performance in terms of material structure. Composite materials play an essential role in aerospace components because they have superior properties. However, when exposed to high temperatures, the organic matrix decomposes if the matrix is made of polymer. So a thermal protective layer is needed. In this research, the Al₂O₃ ceramic skin barrier was made with Na₂(SiO₂)_x.(H₂O)_x as a CFRP composite protection layer to prepare further thermal barrier coating. The method used is hot pressing, applying pressure and heating the specimen simultaneously. In this study, the effect of mass fraction 1:2,5; 1:2.75; and 1:3 comparison between Al₂O₃ ceramics and Na₂(SiO₂)_x.(H₂O)_x binder was analyzed, and hot pressing process temperatures of 100°C, 130°C, and 160°C on the adhesion and thermal conductivity of the Al₂O₃ ceramic skin barrier layer structure with Na₂(SiO₂)_x.(H₂O)_x binder. The material characterization methods were Scanning Electron Microscopy (SEM), Thermal Conductivity Meter (TCM), Pull-off test, Thermogravimetric Analysis (TGA), dan Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The analysis results show that in its application to protect CFRP, skin barrier with ceramic mass fraction and binder 1:2,5; 1:2.75; 1:3, which is hot pressed at a temperature of 130 and 160 and a 1:3 mass fraction pressed at a temperature of 100°C meet the qualifications required. The lowest thermal conductivity of the material is SB160/3 which is 0.1605, which causes a decrease in temperature from 500°C to 46.45°C, and for the adhesion strength of the Al₂O₃ ceramic skin barrier layer structure, the data trend shows the best adhesion of the three specimens on each temperature is a composition of 1:2.75 with the optimum adhesion value to the SB100/2.75 specimen is 0.797 MPa

Keywords: *Adhesive Strength, Alumina, Binder, CFRP, Hot pressing, Thermal Conductivity*

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian tugas akhir yang berjudul “**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR CURING DAN FRAKSI MASSA Al_2O_3 DAN $Na_2(SiO_2)_x.(H_2O)_x$ TERHADAP DAYA LEKAT DAN KONDUKTIVITAS TERMAL SKIN BARRRIER LAMINATED CFRP**” untuk memenuhi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama proses penelitian, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis, diantaranya adalah:

1. Ibu Vania Mitha Pratiwi, ST., MT., selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
2. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
3. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. (Eng.), Ph.D selaku dosen wali.
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-RS ITS.

Penulis berharap penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, 5 Juli 2022
Penulis

Serly Hardiyanti

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Abstrak	xiii
Abstract	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i>	3
2.2 <i>Hot pressing</i>	4
2.3 Aluminium Oksida	5
2.4 Binder	6
2.5 Keramik Al ₂ O ₃	7
2.6 Sifat mekanik	7
2.7 Analisis konduktivitas termal	10
2.8 <i>State of the art</i>	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Diagram Alir	15
3.2 Bahan Penelitian	16
3.3 Alat Penelitian	18
3.4 Metode Penelitian	20
3.1. Proses Pengujian	20
3.5 Rancangan Penelitian	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Spesimen	23
4.2 Hasil Pengujian Karakteristik Keramik	23
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	33
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	39

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi struktur serat karbon.....	3
Gambar 2. 2 Pengujian tarik (a) lurus, (b) <i>loop</i> , (c) simpul.....	3
Gambar 2. 3 Skema proses <i>hot pressing</i>	5
Gambar 2. 4 Kekuatan <i>bonding</i> natrium silikat pada temperatur tinggi.....	6
Gambar 2. 5 Struktur <i>coating</i>	7
Gambar 2. 6 Pengujian kelekatan material	8
Gambar 2. 7 Cacat <i>cracking</i>	8
Gambar 2. 8 Cacat <i>bleeding</i>	8
Gambar 2. 9 Cacat <i>blistering</i>	8
Gambar 2. 10 Cacat <i>bubbling</i>	9
Gambar 2. 11 Cacat <i>checking</i>	9
Gambar 2. 12 Cacat <i>cratering</i>	9
Gambar 2. 13 Hasil pengujian termal metode <i>hot pressing</i> Al_2O_3	12
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	15
Gambar 3. 2 Serbuk Al_2O_3	16
Gambar 3. 3 Binder keramik.....	16
Gambar 3. 4 <i>Wax</i>	16
Gambar 3. 5 <i>Carbon Fiber</i>	16
Gambar 3. 6 Resin epoxy LP1Q	17
Gambar 3. 7 <i>Hardener</i>	17
Gambar 3. 8 <i>Peel ply</i>	17
Gambar 3. 9 <i>Sealant tape</i>	17
Gambar 3. 10 <i>Breather</i>	17
Gambar 3. 11 <i>Vacuum bag film</i>	18
Gambar 3. 12 <i>Polymide tape</i>	18
Gambar 3. 13 Rangkaian alat <i>hot pressing</i>	18
Gambar 3. 14 Gelas <i>beaker</i>	18
Gambar 3. 15 Neraca digital	19
Gambar 3. 16 Mesin <i>siever</i>	19
Gambar 3. 17 Cetakan <i>hot press</i>	19
Gambar 3. 18 Rangkaian alat <i>vacuum bagging</i>	19
Gambar 3. 19 <i>Mini die grinder</i>	20
Gambar 3. 20 Skema proses <i>hot pressing</i>	20
Gambar 3. 21 Skema proses <i>vacuum bagging</i>	20
Gambar 3. 22 Alat <i>adhesive tester</i>	21
Gambar 3. 23 Skema pengujian <i>adhesive pull-off</i>	21
Gambar 3. 24 Alat pengujian <i>thermal conductivity meter</i>	22
Gambar 4. 1 visualisasi makro <i>skin barrier</i>	23
Gambar 4. 2 Visualisasi makro permukaan spesimen hasil pengujian <i>Pull-Off</i> setelah <i>dolly pin</i> dilepas (a) SB100/2,5; (b) SB100/2,75; (c) SB100/3; (d) SB130/2,5; (e) SB130/2,75; (f) SB130/3; (g) SB160/2,5; (h) SB160/2,75; (i) SB160/3	24
Gambar 4. 3 Daya lekat <i>skin barrier</i> terhadap CFRP	24
Gambar 4. 5 Nilai konduktivitas termal <i>skin barrier</i>	26
Gambar 4. 6 Temperatur akhir mengenai CFRP.....	26

Gambar 4. 7 Mokrastruktur penampang melintang <i>skin barrier</i> dan komposit CFRP (a) SB100/2,5; (b) SB100/2,75; (c) SB100/3; (d) SB130/2,5; (e) SB130/2,75; (f) SB130/3; (g) SB160/2,5; (h) SB160/2,75; (i) SB160/3	28
Gambar 4. 8 Morfologi skin (kiri) sebelum; (kanan) sesudah <i>thermal torch test</i>	28
Gambar 4. 9 Hasil pengujian TGA.....	29
Gambar 4. 10 Grafik turunan pertama TGA SB160/2,5 dan SB160/3.....	30
Gambar 4. 11 Analiais FTIR spesimen setelah <i>hotpress</i> pada 160°C dan <i>torch</i> pada 500°C	31

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat mekanik serat karbon	4
Tabel 2. 2 Resin CFRP	4
Tabel 2. 3 Spesifikasi alumina	6
Tabel 2. 4 Cacat pada proses pelapisan	8
Tabel 2. 5 Pengujian <i>pull-off</i> keramik.....	9
Tabel 2. 6 Metode perlindungan termal pada komposit	13
Tabel 2. 7 Parameter proses <i>hot pressing</i>	13
Tabel 3. 1 Rancangan penelitian	22
Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian	22
Tabel 4. 1 Spesifikasi spesimen dihasilkan.....	23
Tabel 4. 2 Tabulasi karakterisasi <i>skin barrier</i>	31

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu cita-cita Indonesia adalah mengembangkan roket sendiri sebagai pengorbit satelit (Iqbal, 2022). Adanya upaya pengembangan roket sebagai produk dirgantara nasional tentu akan menjadi kebanggaan bangsa yang patut didukung. Disisi lain, industri dirgantara secara kontinu berupaya meningkatkan performa pesawat komersial dan pertahanan terutama dari segi struktur material (Muthukumar et al., 2021). Bersamaan dengan target organisasi penerbangan sipil internasional (ICAO) adalah untuk mengurangi emisi penerbangan setidaknya 50% hingga tahun 2050 (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2019). Demi mencapai hal tersebut salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah mengoptimalkan antara massa dan spesifikasi standar material dirgantara. Komposit adalah salah satu kelas bahan yang berperan penting dalam komponen kedirgantaraan saat ini dan masa depan (Muthukumar et al., 2021). Hal ini karena komposit memiliki kekuatan dan rasio kekakuan-densitas yang luar biasa serta sifat fisik yang unggul. Setengah dari berat Boeing 787 terbuat dari komposit serat karbon, sehingga lebih kuat, ringan, dan hemat bahan bakar (Stewart, 2009). Namun, batasan dari material ini adalah bahwa matriksnya terbuat dari polimer, ketika CFRP terkena lingkungan temperatur tinggi, matriks organik terurai. Epoksi dan bismaleimida (BMI) memiliki temperatur operasi maksimum masing-masing sekitar 180°C dan 232°C (Jia et al., 2020). NASA melaporkan bahwa selama *re-entry*, temperatur permukaan luar *Space Shuttle Orbiter* yang bergerak dengan kecepatan supersonik mencapai lebih dari 1600°C (Ahmad et al., 2021). Karena hal tersebut penggunaan komposit dalam aplikasi dirgantara memerlukan teknologi perlindungan termal.

Salah satu teknologi perlindungan termal yang umum digunakan adalah *Thermal Barrier Coating*, yaitu pendepositan lapisan material keramik pada substrat (Liu et al., 2019). Namun, tingginya temperatur proses pengaplikasian TBC membutuhkan perlakuan khusus jika diimplementasikan untuk komposit. Beberapa dekade terakhir, beberapa metode pelapisan telah diimplementasikan untuk FRP. Laungtriratana dkk. (2015) menggunakan TBC dan *Glass FRPs* (GFRPs) melalui dua metode yaitu penyemprotan dan pencampuran campuran partikel keramik ke permukaan GFRP dengan resin epoksi (Luangtriratana et al., 2015). Dengan cara yang sama, Konnicke, dkk. (2011), membuat TBC menggunakan aluminium trihidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) skala nano. Hasilnya, partikel keramik dipisah dari FRP saat epoksi terbakar habis (Könnicke et al., 2011). Golewksi dkk. (2018), menggunakan anyaman serat alumina sebagai TBC untuk karbon FRP (CFRP) (Przemysław Golewski & Sadowski, 2018). Dalam penelitian Golewksi dkk. (2019) lainnya, anyaman keramik ditempatkan pada substrat CFRP sebagai lapisan pelindung terhadap kerusakan termal langsung dengan metode HVOF dan APS di atas 300°C. Saat diberi perlakuan APS substrat polimer akan mengalami degradasi sehingga CFRP harus digunakan untuk menahan nyala api (P. Golewski & Sadowski, 2019). Didapat kesimpulan metode yang dijalankan masih kurang optimal. Kim, dkk (2021) menggunakan metode *hot pressing* untuk membuat lapisan (*skin*) pelindung pada Carbon FRP (CFRP) menggunakan keramik alumina dan binder K_2SiO_2 yang diberi perlakuan *hot press* lalu dilaminasi dengan anyaman CFRP. Metode ini cukup efisien karena selain mudah juga menjadikan ukuran *skin* yang memiliki ketebalan homogen (Kim et al., 2021). Namun dalam proses, hanya digunakan satu metode untuk membuat spesimen yang nantinya dikenakan paparan tiga variasi temperatur (Kim et al., 2021). Belum ada penelitian lebih lanjut terkait variabel optimal proses *hot pressing* sebagai metode pembuatan *skin* pelindung CFRP dalam proses TBC.

Berbagai macam faktor yang mempengaruhi proses *hot pressing* antara lain fraksi massa yang mempengaruhi densitas dan sifat insulasi termal komposit (Sithebe et al., 2006) dengan hasil eksperimen meningkatnya kandungan serat kinerja insulasi termal berkurang (L. He et al.,

2020). Faktor lainnya adalah temperatur tekanan terhadap densitas (Sithebe et al., 2006) dan kekuatan (Zhang et al., 2021). Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh temperatur *curing* dan fraksi massa Al_2O_3 dengan binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ terhadap konduktivitas termal dan kekuatan mekanik dari struktur lapisan *skin barrier* keramik Al_2O_3 .

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh fraksi massa Al_2O_3 dengan binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ terhadap konduktivitas termal dan daya lekat dari struktur lapisan *skin barrier* keramik Al_2O_3 .
2. Bagaimana pengaruh temperatur *curing* proses *hot pressing* Al_2O_3 dengan binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ terhadap konduktivitas termal dan daya lekat dari struktur lapisan *skin barrier* keramik Al_2O_3 .

1.3 Batasan Masalah

1. Fraksi massa seluruh komposit dianggap homogen.
2. Persebaran temperatur proses dianggap merata.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh fraksi massa Al_2O_3 dengan binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ terhadap konduktivitas termal dan daya lekat dari struktur lapisan *skin barrier* keramik Al_2O_3 .
2. Menganalisis pengaruh temperatur *curing* proses *hot pressing* Al_2O_3 dengan binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ terhadap konduktivitas termal dan daya lekat dari struktur lapisan *skin barrier* keramik Al_2O_3 .

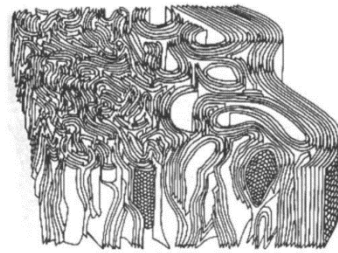
1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan lapisan keramik Al_2O_3 sebagai *skin barrier* yang memiliki sifat mekanik yang baik, dan stabil terhadap temperatur tinggi. Selain itu, penelitian ini juga dapat digunakan sebagai referensi penelitian selanjutnya untuk terus memajukan teknologi dirgantara nasional demi menunjang bidang pertahanan dan keamanan bangsa.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*

Serat karbon (*Carbon fiber*) dibuat dengan pirolisis serat organik. Karena pirolisis disertai dengan hilangnya material, serat karbon memiliki struktur berpori dan berat jenisnya (sekitar $1,8 \text{ g/cm}^3$) lebih kecil dari grafit ($2,26 \text{ g/cm}^3$).



Gambar 2. 1 Ilustrasi struktur serat karbon (Stewart, 2009)

Sifat serat karbon dipengaruhi oleh ukuran kristal, orientasi kristal, porositas dan kemurnian struktur karbon. Secara umum serat karbon ada dua jenis utama (Valsiliev & Morozov, 2001):

1. Serat berbasis PAN.

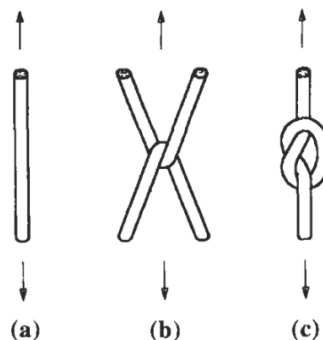
Untuk serat berbasis PAN, prosesnya terdiri dari tiga tahap: stabilisasi, karbonisasi, dan grafitisasi. Pada langkah pertama (stabilisasi) sistem filamen poliakrilonitril (PAN) diregangkan dan dipanaskan hingga sekitar 400°C dalam tungku oksidasi, sedangkan pada langkah berikutnya (karbonisasi di bawah 900°C dalam media gas inert) sebagian besar elemen dari filamen selain karbon dihilangkan atau diubah menjadi karbon. Selama perlakuan panas berturut-turut pada temperatur mencapai 2800°C (grafitisasi) struktur karbon kristal berorientasi sepanjang serat terbentuk menghasilkan serat karbon berbasis PAN.

2. Serat berbasis *pitch*.

Untuk serat karbon berbasis *pitch*, filamen organik awal dibuat dengan cara yang kurang lebih sama seperti untuk serat kaca dari minyak bumi cair atau *pitch* batu bara dan melewati proses karbonisasi dan grafitisasi.

2.1.1 Spesifikasi

Untuk mengevaluasi sifat mekanik serat di bawah kondisi manufaktur nyata, tiga tes sederhana (Valsiliev & Morozov, 2001) digunakan uji tarik (*tension of tow*) kering lurus, uji tarik dengan *loop*, dan uji tarik dengan simpul sesuai pada **Gambar 2.1**



Gambar 2. 2 Pengujian tarik (a) lurus, (b) *loop*, (c) simpul (Valsiliev & Morozov, 2001)

Untuk hasil pengujian tarik serat karbon yang telah dinormalisasi disajikan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Sifat mekanik serat karbon (Schetz, 1801)

Serat	d (μm)	Specific Gravity	US (%)	UTS (GPa)	Coef. Exp. Thermal (x10 ⁻⁶ m/m/°C)	Max T (°C)
PAN based						
<i>High strength</i>	8	1,76	1,5	3,5	-0,4	>2000
<i>Medium modulus</i>	5	1,80	2,4	5,9	-1,0	>2000
<i>High modulus</i>	8	1,90	0,5	2,5	-1,0	>2000
<i>High modulus</i>	6	1,94	0,7	3,9	-1,2	>2000
Pitch based						
<i>High modulus</i>	10	2,03	0,4	2,1	-1,4	>2000
<i>High modulus</i>	10	2,15	0,3	2,2	-1,4	>2000
<i>High modulus</i>	10	2,18	0,3	2,2	-1,4	>2000

2.1.2 Matriks polimer

Untuk memaksimalkan kekuatan dan kekakuan serat yang tinggi dalam bahan komposit untuk aplikasi teknik, serat diikat dengan bahan matriks yang kekuatan dan kekakuannya secara alami lebih rendah daripada serat (jika tidak, serat tidak diperlukan). Bahan matriks memberikan bentuk akhir dari struktur komposit dan mengatur parameter proses manufaktur (Schetz, 1801).

Sekitar 90% matriks resin termoset yang digunakan adalah resin poliester karena relatif ekonomis dengan performa termal dan sifat mekanik yang baik (Park, 2018). Menurut Johnson (Johnson JW, 1980) kebutuhan matriks resin untuk aplikasi potensial antara lain:

1. Ketahanan termal tinggi,
2. Resistensi terhadap kelembaban dan fluida lain (misal: bahan bakar dirgantara),
3. Properti mekanik unggul (misal: resistensi *hot-wet*, ketahanan impak tinggi, dll.),
4. Mempertimbangkan aspek asap, api, dan toksisitas

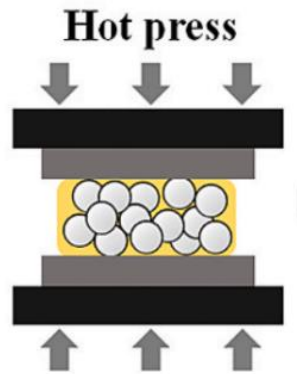
Berikut beberapa jenis resin yang sering digunakan dalam pembuatan CFRP:

Tabel 2. 2 Resin CFRP (Park, 2018)

Sifat mekanik	Poliester <i>Orthoph-thalic</i>	Poliester <i>Isophtha-lic</i>	Poliester <i>Bisphenol-A</i>	<i>Vinyl-ester</i>	<i>Epoxy</i>
E (GPa)	3.2	3.5	3.2	3.3	2–4
UTS (MPa)	65–75	70–85	60–75	70–80	80–150
Elonga-tion %	2–4	3–5	2.5–4.0	5–6	1–8

2.2 Hot pressing

Dalam fabrikasi material keramik, densifikasi selalu menjadi langkah kritis. Ada berbagai teknik untuk mendapatkan material keramik padat, yang paling umum adalah *sintering* tanpa tekanan dan pengepresan panas (*hot pressing*). Metode lain, seperti pengepresan isostatik dengan panas (*hot isostatic pressing*) dan deposit uap kimia (*chemical vapor deposition*), lebih mahal dan jarang digunakan (Fryburg et al., 1990).



Gambar 2. 3 Skema proses *hot pressing* (Kim et al., 2021)

Pengepresan panas merupakan teknik manufaktur dengan penerapan tekanan dan temperatur tinggi pada spesimen dengan tujuan utama menghilangkan porositas (THOMAS & JONES, 1960).

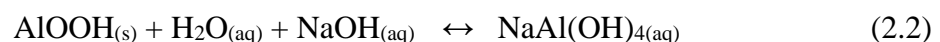
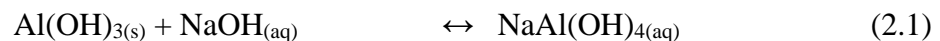
Parameter yang berpengaruh dalam proses pengepresan temperatur tinggi antara lain (Younesi et al., 2010):

1. Tekanan
Peningkatan tekanan menyebabkan peningkatan densitas, kristalinitas, (*Melt Flow Index*) MFI, kekuatan tarik ultima dan modulus Young.
2. Temperatur
Peningkatan temperatur meningkatkan MFI, kekuatan tarik dan modulus Young tetapi menyebabkan penurunan ketahanan impak komposit

2.3 Aluminium Oksida

Alumina (Al_2O_3) merupakan salah satu bahan keramik yang sangat penting, baik murni maupun sebagai komponen keramik dan kaca. Kegunaan alumina berasal dari berbagai sifat-sifatnya. Alumina memiliki titik lebur tinggi 2.054°C , dan secara kimiawi sangat stabil dan tidak reaktif, yang mengarah ke aplikasi sebagai komponen temperatur tinggi, substrat katalis, dan implan biomedis. Kekerasan, kekuatan, dan ketahanan abrasi alumina termasuk yang tertinggi untuk oksida, membuatnya berguna untuk bahan abrasif, bantalan, dan alat pemotong (Shackelford & Doremus, 2008).

Bauksit adalah nama bijih yang merupakan sumber utama alumina; bauksit mengandung gibbsite, $-\text{Al}(\text{OH})_3$, yang merupakan fase stabil $\text{Al}(\text{OH})_3$ pada temperatur dan tekanan sekitar. Aluminium hidroksida dipisahkan dari bauksit dengan proses Bayer, di mana hidroksida ini dilarutkan dalam natrium hidroksida untuk memisahkannya dari konstituen bauksit yang tidak diinginkan lainnya. Reaksi pelarutan dilakukan pada sekitar 285°C dan 200 atm. tekanan, dan adalah:



Spesifikasi Al_2O_3 ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. 3 Spesifikasi alumina (Shackelford & Doremus, 2008) (Merck & Forster, 2021)

Parameter	Spesifikasi
Material	Aluminium oxide anhydrous (γ -alumina)
Luas permukaan (BET)	120 – 190 m ² /g
Kandungan yang dapat di ekstrak dari air	0,5%
Loss of ignition (900)	≤ 1%
Compacted bulk density	950 – 1100 g/l
Titik lebur	2.054°C

2.4 Binder

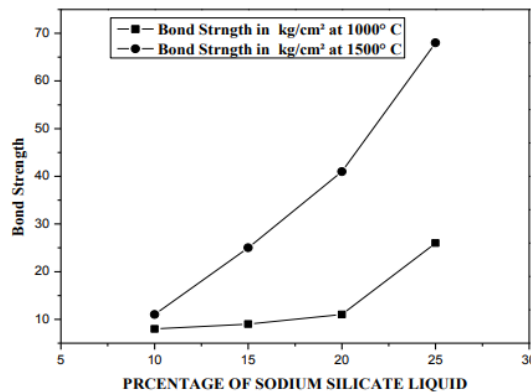
Setelah bentuk keramik dicetak dan pelarut telah diuapkan, penggunaan pengikat/*binder* dapat memberikan kekuatan yang cukup besar. Hal ini karena binder mampu mencegah kegetasan material kering dan menjadikannya cukup kuat (Shanefield, 1995). Saat membuat pengikat/*binder*, tugas penting adalah mempelajari proses *curing*-nya. Pembentukan struktur jaringan dalam pengikat polimer dipengaruhi oleh komposisinya, temperatur dan waktu *curing*, transformasi kimia dan fisika yang menyertai proses, serta sejumlah faktor lainnya (Osipchik et al., 2021).

2.4.1 Sodium Silikat

Molekul anorganik seperti silikat (dan fosfat) menjadi polimer sementara ketika dalam larutan, meskipun berat molekul terbatas pada nilai yang lebih rendah daripada yang dapat dimiliki bahan organik. Natrium silikat ketika dilarutkan dalam air akan menghasilkan anion yang sangat polar (ion silikat bermuatan negatif atau ion poli akrilat). Anion ini akan menyerap ke serbuk keramik, menghasilkan muatan negatif pada partikel bubuk. Setiap anion memiliki beberapa atom oksigen kaya elektron yang menyebabkan ikatan van der Waals dan dengan demikian membuat beberapa titik untuk adsorpsi (Shanefield, 1995).

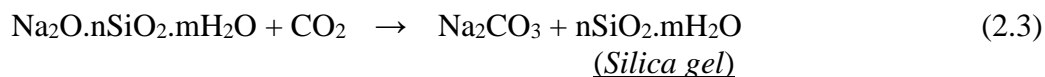
Natrium silikat dipilih sebagai binder karena natrium silikat ditemukan membentuk ikatan yang lebih efektif yang meningkatkan kekuatan material pada temperatur ruang secara drastis; ini dikaitkan dengan perilaku pengaturan udara (*air-setting*) dari natrium silikat. Selain itu *bonding strength* dari material dengan binder natrium silikat akan naik stabil hingga temperatur hingga 1000°C seperti pada **Gambar 2.5**.

Natrium silikat (*soluble waterglass*) sebagai zat pengikat independen ditandai dengan metode pengerasan di udara. Untuk mempercepat proses pengerasan, digunakan perlakuan panas, pengeringan udara dari pasir cetak dan proses karbonasi (proses CO₂) dengan tujuan menghilangkan kelebihan air (Akulova et al., 2019).



Gambar 2. 4 Kekuatan *bonding* natrium silikat pada temperatur tinggi (Mishra, 2013)

Proses CO₂ adalah dimana saat CO₂ yang melewati campuran keramik dengan binder natrium silikat akan membuat campuran tadi mengeras dalam waktu singkat karena ada reaksi antara sodium silikat dan CO₂ membentuk *silica gel* yang memberikan sifat kekuatan pada material akhir. Bahkan saat dibiarkan campuran akan mengikat CO₂ dari atmosfer dan mengeras perlahan, tapi untuk menghemat waktu biasanya digunakan *torch* atau mekanisme melewati CO₂ agar reaksi lebih cepat dan keras lebih cepat (Sinha et al., 2021).



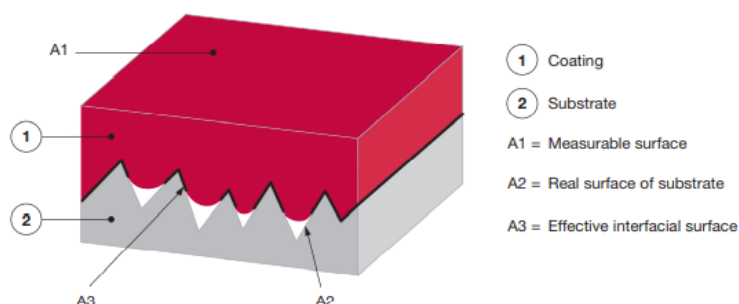
2.5 Keramik Al₂O₃

Sifat unggul dari Al₂O₃ menjadikannya salah satu kandidat material struktural, seperti aplikasinya untuk dirgantara (Bafakeeh et al., 2021), medis (Anjaneyulu et al., 2020), struktur untuk aplikasi pada temperatur tinggi (Santhosh Kumar et al., 2012), dll. Kebutuhan akan penggunaan material ringan dan kuat banyak dipenuhi dengan penggunaan komposit seperti *thin-walled structures* (TWS) (Bafakeeh et al., 2021). Komposit TWS memberikan sifat mekanik unggul seperti kekuatan tinggi, tahan korosi, ringan, murah, dan mudah manufakturnya (Nishikawa et al., 2006). Sebagai pelindung termal sendiri alumina dapat digunakan sebagai lapisan isolator sehingga panas diterima permukaan jauh berkurang dibanding yang diterima komposit (Jia et al., 2020). Adapun metode yang digunakan dalam pembuatan komposit dengan perlindungan termal ditunjukkan oleh **Tabel 2.4**.

2.6 Sifat mekanik

2.6.1 Uji daya lekat

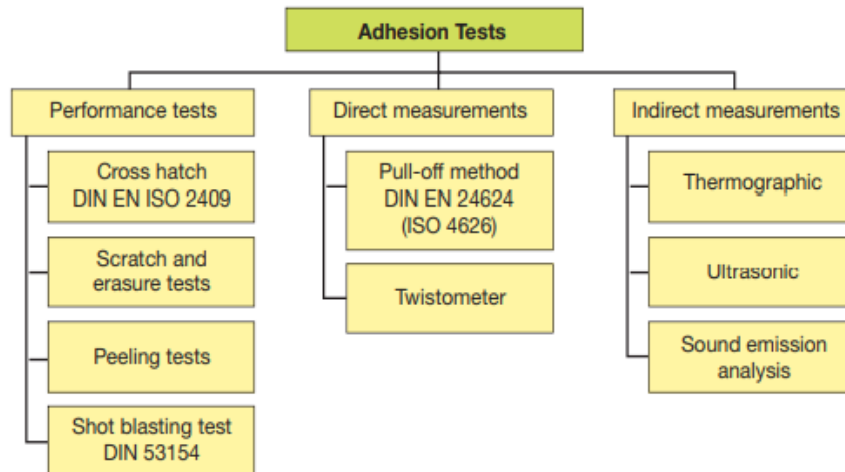
Menurut *American Society for Testing and Materials* (ASTM) (D907-07), adhesi ialah keadaan dimana dua permukaan disatukan oleh gaya antarmuka (*interface*) (Rickerby, n.d.). Adhesi pada hasil *coating* sangatlah penting karena sedikit saja muncul bagian yang terkelupas maka itu sudah dianggap sebagai bentuk kegagalan. Kebersihan pada permukaan substrat menjadi salah satu parameter penting dari hasil sebuah *coating* (Streitberger & Goldschmidt, 2019).



Gambar 2.5 Struktur *coating* (Streitberger & Goldschmidt, 2019)

Pada **gambar 2.6**, A1 merupakan permukaan *coating* yang bisa terukur dan A2 merupakan permukaan substrat. Sedangkan A3 merupakan permukaan yang bersentuhan antara keduanya (*interface*). Selain kebersihan permukaan yang disebutkan di atas banyak factor yang memengaruhi hasil dari *coating*. Diantaranya adalah prosedur *coating*, jenis alat, parameter alat, kondisi substrat, waktu *curing*, dan material *coating* itu sendiri




Adhesi pada *coating* (daya lekat) dapat dihitung dengan beberapa metode seperti yang dijelaskan pada **gambar 2.7**



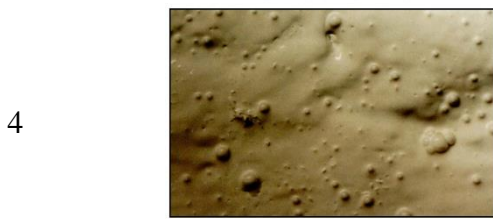
Gambar 2. 6 Pengujian kelekatan material (Streitberger & Goldschmidt, 2019)

Dalam aplikasinya proses pelapisan material dapat mengalami beberapa jenis kegagalan dalam proses maupun akibat preparasi sebelum pelapisan. Adapun jenis kegagalan yang dapat terjadi adalah:

Tabel 2. 4 Cacat pada proses pelapisan (Atlas et al., 2019)

No.	Gambar	Penyebab	Pencegahan
1	 <p>Gambar 2. 7 Cacat <i>cracking</i></p>	Retak tegangan pergerakan permukaan	karena dan Menggunakan sistem pelapisan sesuai dan material yang lebih fleksibel.
2	 <p>Gambar 2. 8 Cacat <i>bleeding</i></p>	Difusi berwarna	pelarut Penggunaan material lapisan dan pelarut yang sesuai.
3	 <p>Gambar 2. 9 Cacat <i>blistering</i></p>	Adhesi yang hilang karena kontaminan minyak, pelarut, dll.	Preparasi dengan benar

BUBBLES OR BUBBLING



4

Terperangkapnya udara atau pelarut dan tidak hilang saat proses pengeringan.

Menggunakan *airless* spray serta menyesuaikan temperatur dan viskositas.

Gambar 2. 10 Cacat *bubbling*

CHECKING
(see also cracking)



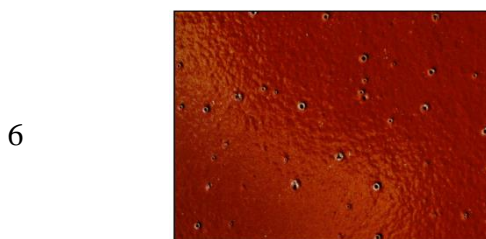
5

Retak halus karena tegangan.

Menggunakan komposisi maerial pelapis yang sesuai

Gambar 2. 11 Cacat *checking*

CRATERING



6

Meledaknya gelembung udara yang terperangkap.

Menggunakan pelarut rekomendasi dan memperbaiki sistem aplikasi lapisan.

Gambar 2. 12 Cacat *cratering*

Pada penelitian terdahulu terkait pengujian daya lekat terutama bahan keramik dengan menggunakan metode *pull-off* telah banyak dilakukan. **Tabel 2.4**

Tabel 2. 5 Pengujian *pull-off* keramik

Substrat	Coating material	Standard pengujian Pull-off test	Hasil daya lekat (Mpa)	Sumber
Baja karbon rendah (S 355) t = 3.0 mm	perekat sensitif tekanan meleleh panas dan PVC	ASTM D4541	0,27 - 0,34	(Marquardt et al., 2022)
-	adhesive mortar	ASTM D4541	0,3 – 1,5	(Lopes et al., 2015)
Ceramic Tile	Cement based adhesive	EN 12004	0.04 - 1.86	(Ramos et al., 2012)

2.6.2 Pengaruh fraksi massa

Pada material komposit sebagian besar model prediksi sifat mekanik mengasumsikan bahwa inklusi pengisi (*filler*) dalam matriks, mengurangi kekuatan komposit. Selanjutnya, model tersebut mengasumsikan bahwa kekuatan komposit tidak boleh lebih tinggi dari kekuatan matriks. Tetapi dalam beberapa kasus, peningkatan pengisi dapat meningkatkan kekuatan komposit yang menandakan bahwa pengisi juga dapat berkontribusi pada kekuatan komposit dengan menciptakan antarmuka yang baik. Oleh karena itu persamaan empiris mempertimbangkan kontribusi konstituen yaitu pengisi dan matriks pada kekuatan komposit

(Srinivas & Bhagyashekar, 2021). Sifat material komposit dapat diperkirakan berdasarkan kontribusi masing-masing bagian komposit. Metode ini disebut sebagai aturan campuran atau *rule of mixture* (RoM) (Izzaty et al., 1967) dengan persamaan:

$$\sigma_c = Y \cdot \sigma_f \cdot W_f + \sigma_m \cdot W_m \quad (2.4)$$

$$Y = \frac{1}{a + (n - 1)d} \quad (2.5)$$

dimana σ_c merupakan kekuatan komposit, σ_f merupakan kekuatan penguat/serat, σ_m merupakan kekuatan matriks, W_f merupakan fraksi berat penguat, W_m merupakan fraksi berat matriks, a dan d adalah konstanta dengan nilai $a = 2$; $d = 0,1$ dan n merupakan presentasi berat penguat/serat (Srinivas & Bhagyashekar, 2021).

2.7 Analisis konduktivitas termal

Konduktivitas termal adalah ukuran kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal didefinisikan sebagai sifat material yang menunjukkan jumlah panas mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien temperaturnya satu (Ho et al., 1968). Material dengan nilai konduktivitas termal tinggi disebut konduktor, sedangkan material dengan nilai konduktivitas termal rendah disebut isolator. Dalam aplikasinya, konduktivitas termal dapat berubah seiring perubahan temperatur, tetapi nilai perubahannya cukup kecil untuk diabaikan. Nilai angka konduktivitas termal menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu. Semakin cepat molekul bergerak, semakin cepat pula untuk mengangkut energi (Holman & E. Jasjfi, 1988). Pada pengukuran konduktivitas termal mekanisme perpindahannya dengan cara konduksi.

Berdasarkan hukum kedua termodinamika konduktivitas panas dapat diukur jika terjadi perpindahan panas dari suhu yang tinggi ke suhu yang rendah. Berdasarkan hukum konduksi panas Fourier (*Fourier's law of heat conduction*) laju aliran panas per satuan luas sebanding dengan penurunan suhu selama jarak Y . Konstanta proporsionalitas k adalah konduktivitas termal pelat.

$$q = k \frac{A \Delta T}{Y} \quad 2.6$$

$$q = \frac{A (T_{awal} - T_{akhir})}{Y/k} \quad 2.7$$

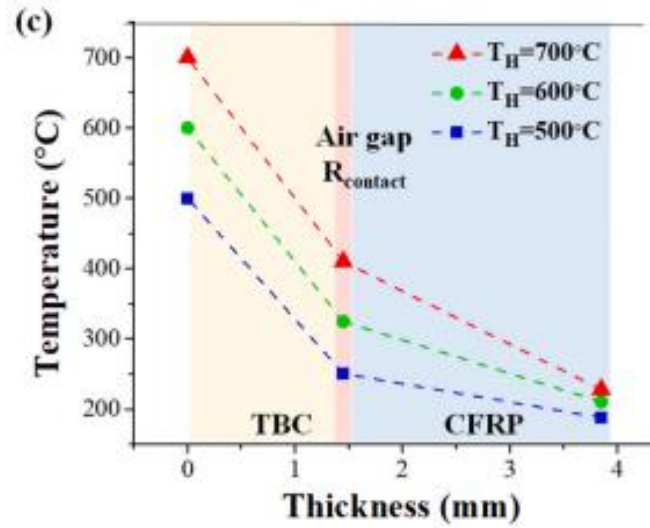
$$T_{awal} - T_{akhir} = \frac{q \cdot Y}{A \cdot k} \quad 2.8$$

$$T_{akhir} = T_{awal} - \frac{q \cdot Y}{A \cdot k} \quad 2.9$$

- q = laju perpindahan panas konduksi (W atau J/s)
 k = konduktivitas termal(W/mK)
 T_{awal} = Temperatur mengenai benda (°C)
 T_{akhir} = Temperatur mengenai CFRP (°C)
 Y = tebal lapisan (m)
 A = luas penampang uji (m²)

2.8 *State of the art*

Penelitian mengenai perlindungan termal pada material komposit telah dilaksanakan beberapa kali sebelumnya. Beberapa penelitian terkait metode perlindungan termal pada komposit yang telah dilaksanakan sebelumnya ditunjukkan pada **Tabel 2.4**. Luangtriratana dkk. (2015) menggunakan TBC dan Glass FRPs (GFRPs) melalui dua metode: (1) penyemprotan campuran partikel keramik, terdiri dari *nanoclay*, serpihan kaca, silikat ($[\text{SiO}_4^{x-}]_n$), aluminium titanat (Al_2TiO_5), dan zirkonia (ZrO_2), ke permukaan GFRP dan (2) pencampuran campuran partikel keramik dengan resin epoksi (Luangtriratana et al., 2015). Dengan cara yang sama, Konnicke, dkk. (2011), membuat TBC menggunakan aluminium trihidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) skala nano. Dalam studi ini, epoksi bertindak tidak hanya sebagai matriks FRP tetapi juga sebagai pengikat untuk melekatkan bahan penghalang termal ke FRP. Matriks epoksi tipikal terurai dalam kisaran temperatur 300–500°C. Di atas temperatur ini, partikel keramik dipisah dari FRP saat epoksi terbakar habis (Könnicke et al., 2011). Golewcki dkk. (2018), menggunakan anyaman serat alumina sebagai TBC untuk karbon FRP (CFRP) (Przemysław Golewski & Sadowski, 2018). Demikian pula, dalam penelitian Golewcki dkk. (2019) lainnya, anyaman keramik ditempatkan pada substrat CFRP sebagai lapisan pelindung terhadap kerusakan termal langsung dengan metode HVOF dan APS (Air Plasma Spray) di atas 300°C. Saat diberi perlakuan APS substrat polimer akan mengalami degradasi termal sehingga lapisan anyaman keramik yang lebih tebal dari substrat CFRP harus digunakan untuk menahan nyala api (P. Golewski & Sadowski, 2019). Didapat kesimpulan metode yang dijalankan masih kurang optimal. Kim, dkk (2021) menggunakan metode *hot pressing* untuk membuat lapisan (skin) pelindung pada Carbon FRP (CFRP) menggunakan keramik alumina dan binder K_2SiO_2 yang diberi perlakuan *hot press* sesuai temperatur curing binder lalu diletakkan diatas anyaman CFRP dan dibiarkan curing sesuai spesifikasi binder. Metode ini cukup efisien karena selain mudah juga menjadikan ukuran skin yang memiliki ketebalan homogen (Kim et al., 2021). Dari metode yang ada metode *hot pressing* terbukti memberikan insulasi termal yang cukup signifikan seperti pada **Gambar 2.6**. Berbagai macam faktor yang mempengaruhi proses *hot pressing* keramik dan akan menimbulkan efek yang bermacam-macam antara lain fraksi massa yang mempengaruhi densitas komposit dengan kata lain terdapat fraksi massa optimal antara partikulat dan binder untuk mencapai densitas optimal (Sithebe et al., 2006), fraksi massa yang mempengaruhi sifat insulasi termal dengan hasil eksperimen menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kandungan serat, difusivitas termal menurun, konduktivitas termal turun dan kinerja insulasi termal berkurang. Peningkatan sifat insulasi termal terutama disebabkan oleh ketahanan termal antarmuka (*interfacial*) yang tinggi dari serat dan matriks (L. He et al., 2020). Faktor lain yang berpengaruh adalah temperatur tekanan terhadap densitas dimana terdapat temperatur optimal binder untuk berikatan dengan partikulat tergantung pada jenis binder (Sithebe et al., 2006), Temperatur tekan dan kekuatan mekanik seperti kekerasan dan *bending strength* (Zhang et al., 2021).



Gambar 2. 13 Hasil pengujian termal metode *hot pressing* Al_2O_3 (Kim et al., 2021)

Tabel 2. 6 Metode perlindungan termal pada komposit

Material	Metode	Sifat	Ref.
Al ₂ O ₃ (9.27um), K ₂ SiO ₂ , CFRP	<i>Hot pressing</i> (96°C, 175°C, 275°C)	Insulasi termal 700°C ke 250°C	(Kim et al., 2021)
CF dan Al ₂ O ₃ + NH ₃ .H ₂ O	Sol-Gel	Tebal 100 nm, kekuatan tarik 2667 ±91 MPa	(Zhu et al., 2020)
Polyzilazane (Durazane 1800), YSZ, CFRP (Prepeg)	<i>Hot pressing</i> (135°C; 30 psi)	Berat stabil hingga 300°C dan menjadi 95% pada 500°C	(Jia et al., 2020)
Tembaga, tembaga dan baja tahan karat, aluminium, dan CFRP	<i>Thermal spray</i> (<i>arc spray</i>)	Kekuatan adesi 6,5-8,5 MPa; Kekuatan bending 280-380 GPa.	(Rezzoug et al., 2018)
YSZ Ceramic, CFRP	HVOF dan APS	Conductivity 0.08 (200 °C) dan 0.22 (800 °C) W/mK; Density 170 kg/m ³ ; Young's modulus 5.2 GPa; Expansion coeff. 30; Specific heat 1,050 J/kgK	(P. Golewski & Sadowski, 2019)
GFRP, Nanoclay, Nanosilica, Flekashield, Recoxit, Zirconia, phenolic resin	<i>Spread coating</i> dan <i>sieving</i> <i>particles</i> pada <i>wet coating</i>	ΔT permukaan (35kW/m ² heat flux) 27°C dan 30°C	(Luangtriratana et al., 2015)
Alumina, CFRP/epoxy	Vakum pada <i>ceramic mat</i> dan resin	Conductivity 0.08 (200°C); 0.15 (600°C); 0.31 (1000°C) W/mK	(Przemysław Golewski & Sadowski, 2018)
<i>Cubic Boron Nitride</i> dan <i>Al powder</i>	<i>Hot pressing</i> (800°C; 50MPa)	Densitas 2.8 g/cm ³ ; porositas <7%	(Sithebe et al., 2006)
<i>Short carbon fiber</i> <i>reinforced</i> and ZrB ₂ - SiC	<i>Hot pressing</i> <i>sintering</i> (2050°C; 1 jam; 25 MPa)	Difusivitas termal 32.9m ² /s; konduktivitas termal 72.9 W/(m·K); dan kinerja insulasi termal berkurang 43.1%.	(L. He et al., 2020)

Tabel 2. 7 Parameter proses *hot presssing*

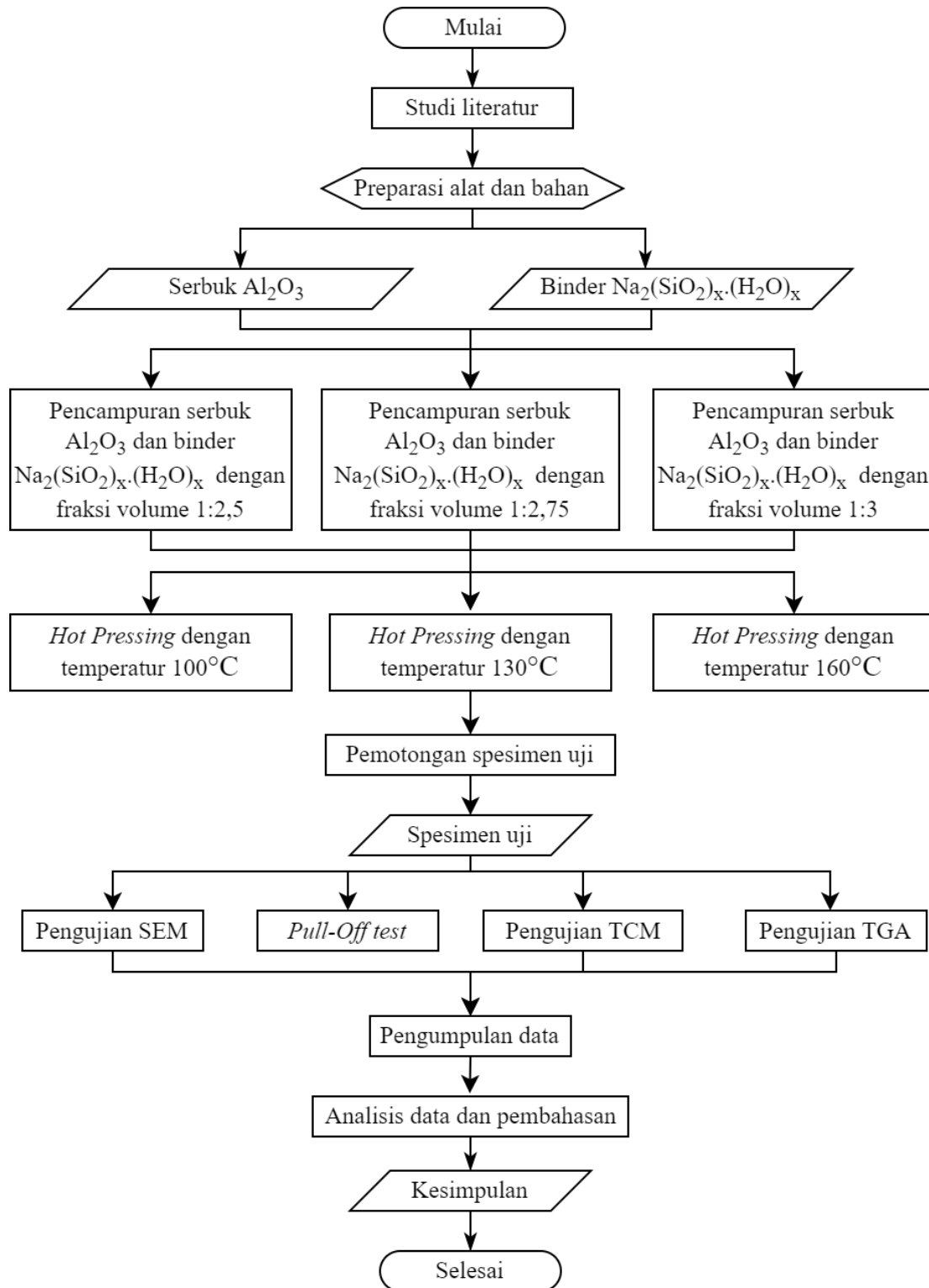
Material	Tekanan (MPa)	Waktu (Jam)	Ref
WC binder Co slurry	5,5	-	(Du et al., 2020)
Al ₂ O ₃ binder	-	1-2	(Bulletin, 2000)
Na ₂ (SiO ₂) _x .(H ₂ O) _x	1, 5, 10	0,5 - 5	(Z. He & Ma, 2000)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Tahapan penelitian secara umum ditunjukkan pada **Gambar 3.1.** berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Serbuk Keramik Al_2O_3

Serbuk alumina (MERCK 1.01095.1000 Aluminium oxide anhydrous (γ -alumina)) yang dipakai memiliki ukuran partikel dengan rata-rata $>0,063$ mm sebesar 72%. Serbuk ini digunakan sebagai bahan dasar pembuatan *skin* keramik.



Gambar 3. 2 Serbuk Al_2O_3

2. Binder $Na_2(SiO_2)_x \cdot (H_2O)_x$

Binder keramik (DILMASIL) yang digunakan berbahan dasar sodium silikat ($Na_2O \cdot nSiO_2$). Binder ini digunakan untuk campuran keramik dalam proses *hot pressing*.



Gambar 3. 3 Binder keramik

3. Wax

Wax digunakan sebagai lapisan anti lengket antara mold dan material dalam proses *vacuum bagging*.



Gambar 3. 4 Wax

4. Carbon Fiber

Carbon fiber yang digunakan adalah HDC524-3K (PT. JUSTUS KIMIARAYA). Carbon fiber digunakan sebagai penguat dalam pembuatan komposit CFRP.



Gambar 3. 5 Carbon Fiber

5. Epoxy LP1Q

Matriks yang digunakan adalah resin berjenis epoxy dengan kode LP1Q (PT. JUSTUS KIMIARAYA). Resin ini berperan sebagai *matriks* pada komposit.



Gambar 3. 6 Resin epoxy LP1Q

6. *Hardener*

Hardener yang digunakan adalah campuran dari MEPOXY dan *Cobalt N 6%* (PT. JUSTUS KIMIARAYA). Kedua bahan dicampurkan dalam resin LP1Q dengan perbandingan resin dan hardener 100:1.



Gambar 3. 7 *Hardener*

7. *Peel Ply*

Peel ply yang digunakan adalah PAS85RS-1000 (PT. JUSTUS KIMIARAYA). *Peel ply* digunakan sebagai lapisan pemisah dari laminasi CFRP ke *breather* agar mudah dipisahkan.



Gambar 3. 8 *Peel ply*

8. *Sealant Tape*

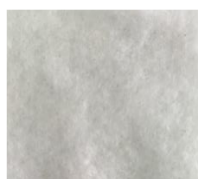
Sealant tape yang digunakan berjenis ST204 kuning (PT. JUSTUS KIMIARAYA). *Sealant tape* digunakan sebagai perekat *vacuum bagging film* ke *plate*.



Gambar 3. 9 *Sealant tape*

9. *Breather*

Breather yang digunakan adalah *breather fabrics* PB150 (PT. JUSTUS KIMIARAYA). *Breather* digunakan sebagai lapisan penyerap resin berlebih.



Gambar 3. 10 *Breather*

10. *Vacuum Bagging Film*

Vacuum bagging film yang digunakan adalah BF150A-6000 (PT. JUSTUS KIMIARAYA). *Vacuum bagging film* digunakan pada bagian paling.



Gambar 3. 11 *Vacuum bag film*

11. *Polymide Tape*

Polymide tape digunakan untuk melapis mold sehingga material tidak menempel pada cetakan. *Polymide tape* yang digunakan memiliki ukuran 50 mm dan tahan hingga temperatur 250-300°C.



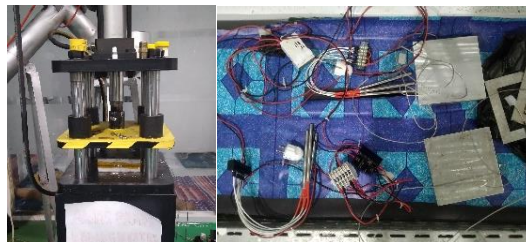
Gambar 3. 12 *Polymide tape*

3.3 Alat Penelitian

Alat penunjang penelitian yang digunakan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Mesin *Hot press*

Mesin *Hot press* merupakan perpaduan dari press hidrolik dan *heater set* (*heater*, *thermocouple*, PID dan LCD).



Gambar 3. 13 Rangkaian alat *hot pressing*

2. Gelas *Beaker*

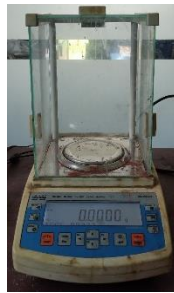
Gelas *beaker* digunakan untuk wadah mencampur keramik Al_2O_3 dengan bindernya.



Gambar 3. 14 Gelas *beaker*

3. Neraca Digital

Neraca digital (REDWAG tipe AS220.R2) digunakan untuk menimbang massa dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Alat ini digunakan untuk menimbang Al_2O_3 dan binder keramik.



Gambar 3. 15 Neraca digital

4. *Sieve dan Siever Shaker*

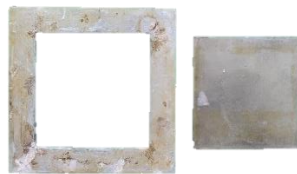
Alat *siever* digunakan untuk mengayak serbuk yang akan digunakan agar memiliki distribusi ukuran yang sama dan sesuai. Alat *siever* yang digunakan



Gambar 3. 16 Mesin *siever*

5. *Mold*

Pada penelitian proses *hot press* menggunakan cetakan berbentuk cincin kotak berlubang sebagai *negative mold* dengan tebal 3 mm dan *positive mold* berbentuk plat tipis 1,5 mm. Cetakan ini terbuat dari bahan aluminium dan *stainless steel* yang baik dalam menghantarkan panas. Cetakan ini dapat menghasilkan spesimen dengan ukuran 110x110 mm dengan tebal yang dihasilkan 1,2-2 mm.



Gambar 3. 17 Cetakan *hot press*

6. *Vacuum bagging*

Alat *vacuum bagging* digunakan untuk membantu proses pembuatan komposit. Alat tersebut membantu menyerap resin berlebih hasil proses laminasi dan permukaan yang dihasilkan lebih rata.



Gambar 3. 18 Rangkaian alat *vacuum bagging*

7. *Mini die grinder*

Alat potong *mini die grinder* digunakan untuk memotong spesimen agar sesuai dengan kebutuhan pengujian.

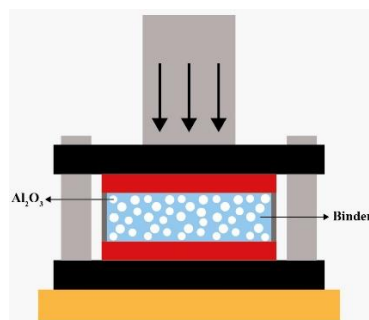


Gambar 3. 19 *Mini die grinder*

3.4 Metode Penelitian

3.4.1. Pembuatan *Skin barrier coating*

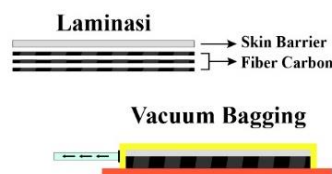
1. Pencampuran 15 gram Al_2O_3 dengan 37,5 gram binder $Na_2(SiO_2)_x \cdot (H_2O)_x$ (1:2,5).
2. Campuran berupa pasta diletakkan pada *mold* dan diberi perlakuan tekan dengan tekanan 4 MPa dan temperatur $100^\circ C$ selama 1 jam.
3. Spesimen didinginkan hingga temperatur ruang lalu dilepas dari cetakan.
4. Proses yang sama dilakukan dengan variasi fraksi massa 1:2,75 dan 1:3 serta variasi temperatur *hot pressing* $130^\circ C$ dan $160^\circ C$.



Gambar 3. 20 Skema proses *hot pressing*

3.3.1. Laminasi *skin barrier* pada *carbon fiber reinforced polymer*

1. Spesimen *skin barrier* yang telah jadi ditumpuk bersama 3 lembar *carbon fiber*.
2. Persiapan laminasi dengan pengolesan *wax* pada cetakan komposit.
3. Tumpukkan *skin barrier* dan *carbon fiber* diletakkan pada *mold* dengan dioleskan resin pada tiap lembarnya dan ditutup dengan *peel ply* dan *breather*.
4. Pemasangan alat *vacuum bag* dan dilakukan proses penyedotan keluar udara dan resin sisa.
5. Spesimen didiamkan hingga keras.



Gambar 3. 21 Skema proses *vacuum bagging*

3.1. Proses Pengujian

3.4.1. Pengujian SEM

SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah pengujian untuk melihat morfologi dari material. Pengujian SEM ini dimaksudkan untuk mengetahui struktur bagian atas dan

melintang dari *skin barrier* yang didapatkan sebelum dan setelah dilakukan pengujian termal. Pengujian dilakukan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen yang akan di SEM, termasuk memotong spesimen untuk melihat daerah melintang dari struktur *skin barrier*.
2. Permukaan spesimen dibersihkan dengan blower agar tidak ada kotoran atau debu yang menempel.
3. Spesimen diletakkan pada *holder* dengan memberi perekat *carbon tape*.
4. Spesimen beserta *holder* dimasukkan ke dalam mesin. Selanjutnya hasil bisa diamati menggunakan komputer.
5. Dilakukan pengulangan pada sampel lainnya.

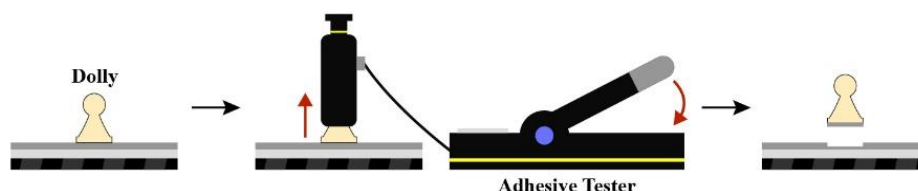
3.4.2. Pengujian *Pull-off*

Pengujian menggunakan alat *Portable Adhesive Tester Tipe II* dengan standar uji ASTM D4541. Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian *adhesive pull-off test* sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen dan peralatan uji.
2. Melekatkan *dolly* dengan ukuran 20 mm ke permukaan spesimen menggunakan lem epoksi *dextone*. Tunggu hingga kering.
3. Memasukkan alat tarik ke *dolly*.
4. Mengkalibrasi alat hingga menunjukkan angka nol. Kemudian menentukan satuan yang digunakan. Dalam percobaan ini menggunakan MPa.
5. Menekan tuas hingga *dolly* terlepas.
6. Mencatat hasil yang muncul.



Gambar 3. 22 Alat *adhesive tester*



Gambar 3. 23 Skema pengujian *adhesive pull-off*

3.4.3. Pengujian TCM

Pengujian *Thermal Conductivity Meter* digunakan untuk mengukur konduktivitas termal suatu material. Mesin yang dipakai berjenis QTM-500 dengan prinsip *hot wire method/probe method*. Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian TCM sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen yang akan diuji termasuk melakukan pemotongan.
2. Menaruh spesimen yang sudah dipreparasi pada *probe*.

3. Memanaskan spesimen untuk mengetahui temperaturnya.
4. Menghitung konduktivitas termal.



Gambar 3. 24 Alat pengujian *thermal conductivity meter*

3.5 Rancangan Penelitian

Tabel 3. 1 Rancangan penelitian

Temperatur <i>Curing</i> (°C)	Fraksi massa (Al ₂ O ₃ : Binder)	Kode spesimen	Pengujian			
			SEM	TCM	TGA	<i>Pull-off test</i>
100	1:2,5	SB100/2,5	✓	✓		✓
	1:2,75	SB100/2,75	✓	✓		✓
	1:3	SB100/3	✓	✓		✓
130	1:2,5	SB130/2,5	✓	✓	✓	✓
	1:2,75	SB130/2,75	✓	✓		✓
	1:3	SB130/3	✓	✓	✓	✓
160	1:2,5	SB160/2,5	✓	✓		✓
	1:2,75	SB160/2,75	✓	✓		✓
	1:3	SB160/3	✓	✓		✓

Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Penyusunan proposal																
Asistensi																
Persiapan alat dan bahan																
Pembuatan <i>skin barrier</i>																
Pembuatan komposit CFRP/ <i>skin barrier</i>																
Pengujian SEM																
Pengujian kekerasan Vickers																
Pengujian TCM																
Penyusunan laporan akhir																

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesimen

Spesimen dari proses *hot pressing* dibagi menjadi dua yaitu sebelum dan sesudah dilaminasi dengan tiga lembar karbon fiber ditunjukkan pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4. 1 visualisasi makro *skin barrier*

Adapun spesifikasi dari *skin barrier* yang dihasilkan meliputi konduktivitas, tebal, dan temperatur akhir mengenai CFRP tersaji pada **Tabel 4.1**.

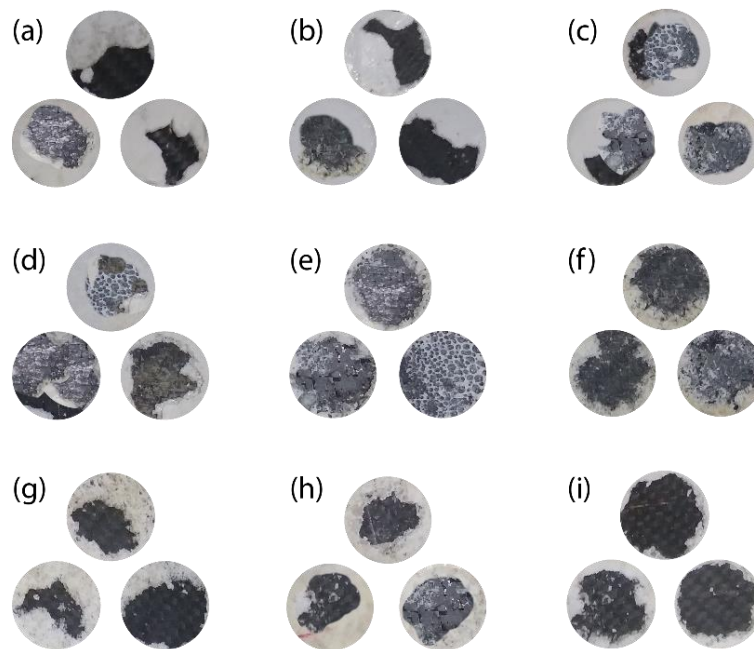
Tabel 4. 1 Spesifikasi spesimen dihasilkan

Nama Bahan	Konduktivitas Termal (W/mK)	q (J/s)	T awal (K)	Luas (m ²)	Tebal lapisan (m)	T akhir (°C)
SB100/2,5	0,4438				0,00166	301,25
SB100/2,75	0,5043				0,0012	373,56
SB100/3	0,31				0,00144	253,18
SB130/2,5	0,2277				0,00146	159,30
SB130/2,75	0,2687	3421,89	773	0,064	0,00134	235,02
SB130/3	0,222				0,00129	191,24
SB160/2,5	0,1697				0,00138	67,91
SB160/2,75	0,2046				0,00134	152
SB160/3	0,1605				0,00137	46,45

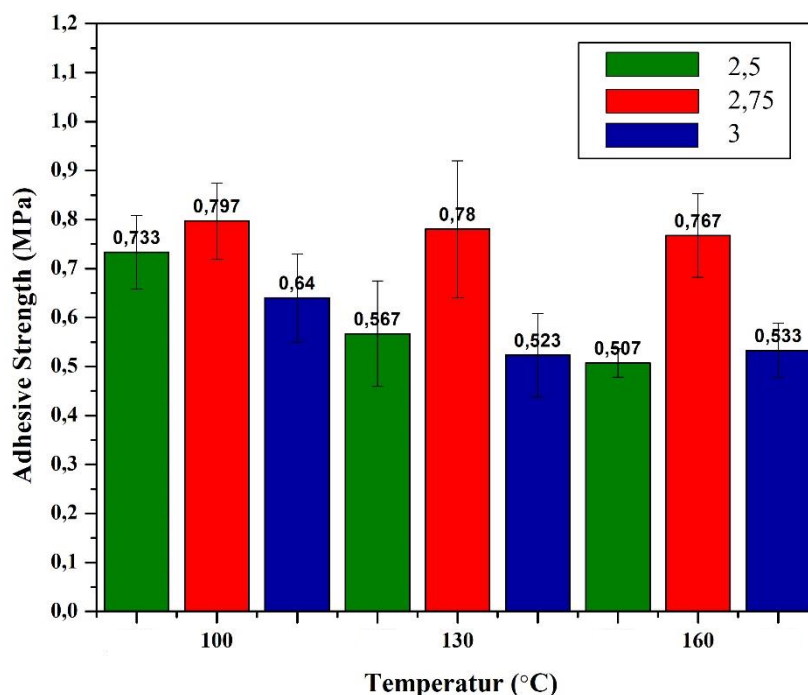
4.2 Hasil Pengujian Karakteristik Keramik

4.2.1 Hasil Pengujian Kekuatan Lekat

Pada **Gambar 4.2** di bawah ini terdapat hasil pengujian kekuatan lekat secara kualitatif dari keramik alumina yang dengan variasi perbandingan antara fraksi massa serbuk alumina dan binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ adalah 1 : 2,5; 1 : 2,75; dan 1 : 3 serta variasi temperatur *hot pressing* adalah 100°C; 130°C; dan 160°C. Pengujian dilakukan dengan pengulangan tiga kali sehingga didapat 27 data untuk 9 spesimen uji kelekatan.



Gambar 4. 2 Visualisasi makro permukaan spesimen hasil pengujian *Pull-Off* setelah *dolly pin* dilepas (a) SB100/2,5; (b) SB100/2,75; (c) SB100/3; (d) SB130/2,5; (e) SB130/2,75 ;(f) SB130/3 ;(g) SB160/2,5 ;(h) SB160/2,75 ;(i) SB160/3



Gambar 4. 3 Daya lekat *skin barrier* terhadap CFRP

Untuk penampakan makro spesimen setelah *dolly pin* dicabut ditunjukkan pada **Gambar 4.2**. Bagian berwarna putih merupakan *skin barrier* sedangkan bagian hitam merupakan CFRP. Pola patah tersebut diukur presentase luas masing-masing dan didapat rentang luas perpatahan kohesi 22,8-66,5%. Patah kohesi merupakan patah antara *skin barrier*

dan *base* CFRP dan patah kohesi ini mengindikasikan bahwa pengujian *pull-off* sudah sesuai standar (ASTM International, 2017).

Melalui perhitungan Two Way ANOVA *with replication* diketahui pengaruh masing-masing variasi dan signifikansinya. Dalam perhitungan digunakan nilai alfa 0,05 yaitu derajat kepercayaan 95%. Berdasarkan data didapat kesimpulan untuk temperatur *hot pressing*, Sig. adalah 0,033 dimana $0.033 < 0.05$, maka ada perbedaan hasil yang **signifikan** berdasarkan temperatur *hot pressing*. Untuk fraksi massa nilai Sig. adalah 0,000 dimana $0.000 < 0.05$, maka ada perbedaan hasil yang **signifikan** berdasarkan fraksi massa. Untuk interaksi antara temperatur *hot pressing* dan fraksi massa, nilai Sig. adalah 0,338 dimana $0.338 > 0.005$, maka **tidak ada perbedaan nilai yang signifikan** berdasarkan **interaksi** antara temperatur *hot pressing* dan fraksi massa.

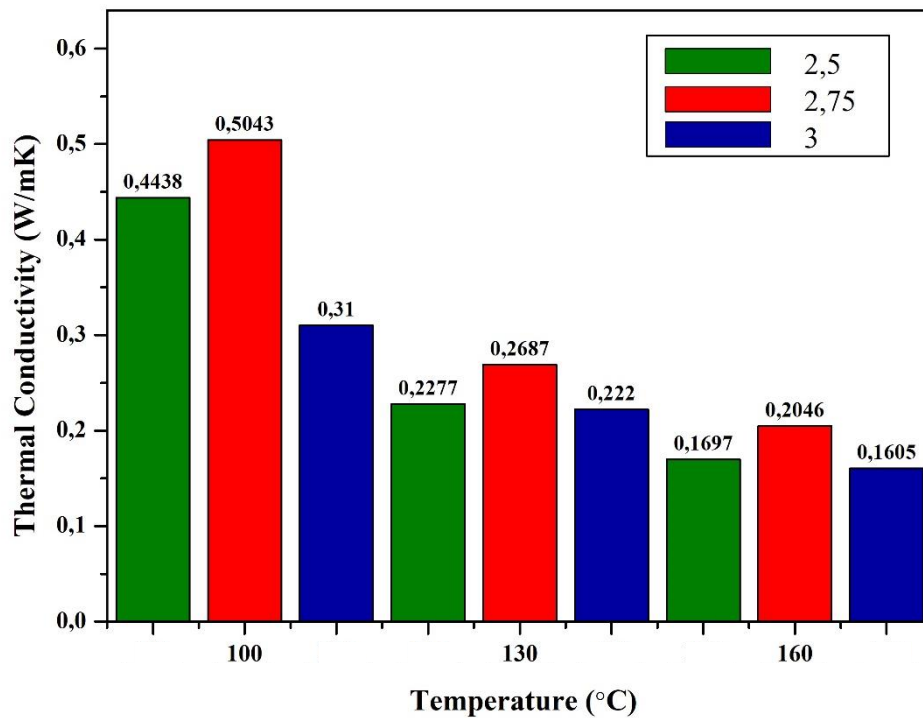
Kekuatan mekanik material laminasi sebagian besar dikendalikan oleh kekuatan ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) antar lapisan (Cheng et al., 2018). Berdasarkan analisis pengaruh fraksi massa terhadap daya lekat untuk masing-masing temperatur *hot pressing* spesimen tampak bahwa daya lekat terbaik dari ketiga variasi fraksi massa adalah 1:2,75. Untuk nilainya sendiri SB100/2,75 adalah 0,797 MPa; untuk SB130/2,75 adalah 0,78 MPa; dan untuk SB160/2,75 adalah 0,767 MPa. Dari ketiga spesimen untuk fraksi 1:2,5 daya lekat rendah dapat disebabkan kurangnya ikatan yang terjadi antarmuka *skin*. Bisa terjadi saat proses pencampuran yang kurang merata sehingga persebaran binder di antara serbuk alumina kurang dan ikatan antarmuka tidak maksimal. Sedangkan untuk perbandingan 1:3 jumlah binder yang ada dalam *skin barrier* cukup untuk menurunkan kekuatan mekanik *skin barrier*. Berdasarkan aturan pecampuran atau *rule of mixture* (Srinivas & Bhagyashekar, 2021) kekuatan mekanik komposit berbanding lurus dengan fraksi massa material penyusun. Sehingga jika jumlah *binder* dengan sifat mekanik yang kurang unggul dibanding alumina maka kekuatan mekanik akan semakin turun. Penelitian mengenai pengaruh fraksi binder terhadap kekuatan mekanik juga pernah dilakukan oleh Ali et al., (2021) dan mendapat kesimpulan bahwa terdapat jumlah optimum binder digunakan dalam keramik untuk mendapat sifat mekanik terbaik.

Untuk pengaruh temperatur terhadap daya lekat, berdasarkan **Gambar 4.3** tampak bahwa untuk ketiga spesimen dengan komposisi sama daya lekat memiliki tren turun. Atau disimpulkan semakin naik temperatur daya lekat semakin rendah. Hal ini dikarenakan adanya keberadaan pori yang semakin banyak seiring kenaikan temperatur dikonfirmasi menggunakan pengujian morfologi pada **Gambar 4.7**. Dalam proses *hot pressing* spesimen yang berbahan dasar alumina dengan binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ mengalami proses *drying* mulai temperatur 90°C . Penguapan air ini menghasilkan gelembung uap air lalu mengering dan menjadi pori. Adanya pori ini menyebabkan ikatan antarmuka (*interface*) rendah dan adhesi rendah dari bahan yang berpori menjadikan kekuatan mekanik rendah (Damayanti et al., 2006). Sehingga semakin banyak binder digunakan maka semakin banyak kandungan air yang nantinya menguap menjadi pori pas *skin barrier*.

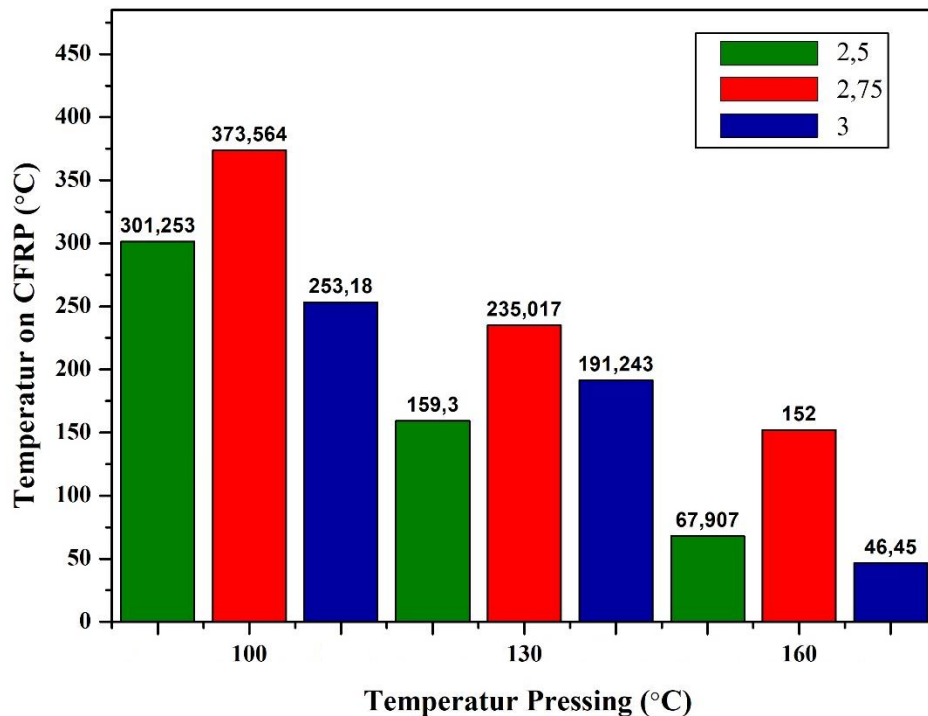
4.2.2 Hasil Pengujian Termal Konduktivitas

Pengujian konduktivitas termal untuk mengetahui sifat bahan yang menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien suhunya satu. Semakin tinggi naik konduktivitas termal maka semakin baik sifat menghantarkan panasnya. Sebagai material yang akan digunakan untuk insulasi termal maka *skin barrier* diharapkan memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah. Berdasarkan **Gambar 4.5** nilai konduktivitas termal terendah adalah keramik dengan komposisi 1:3 dan temperatur *hot press* 160°C yaitu 0,1605 W/mK. Hal ini menunjukkan bahwa sifat insulasi terbaik adalah dari spesimen keramik dengan komposisi 1:3 dan temperatur *hot press* 160°C . Hasil pengujian konduktivitas termal digunakan

untuk memprediksi nilai temperatur akhir yang mengenai CFRP. Digunakan persamaan *Fourier's law of heat conduction* dan didapat hasil tersaji pada **Gambar 4. 6**.



Gambar 4. 4 Nilai konduktivitas termal *skin barrier*



Gambar 4. 5 Temperatur akhir mengenai CFRP

Pada penelitian ini fraksi massa perbandingan Al_2O_3 dan binder $Na_2(SiO_2)_x \cdot (H_2O)_x$ yang divariasikan adalah 1:2,5; 1:2,75; dan 1:3. Dari **Gambar 4. 5** diketahui bahwa nilai

konduktivitas termal terendah dari masing-masing temperatur adalah untuk fraksi massa 1:3 yaitu 0,3100 W/mK untuk SB100/3; 0,2220 W/mK untuk SB130/3; dan 0,1605 W/mK untuk SB160/3 0,767 W/mK. Artinya fraksi massa ini memiliki sifat isolator lebih baik dibanding fraksi massa 1:2,5 dan 1:2,75 pada tiap temperatur. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya pori terbanyak pada fraksi massa ini. Semakin banyak binder digunakan maka semakin banyak kandungan air dalam campuran *skin barrier* sehingga saat proses penguapan air menguap dan membentuk gelembung yang jika sudah kering menjadi pori. Adanya pori ini meningkatkan sifat insulasi termal material (Hong et al., 2020) karena pori berisi gas menghambat transmisi panas dengan menunjukkan fraksi volume tinggi dari fase gas atau dengan memperkenalkan sejumlah besar antarmuka (*interface*) dilewati, yang mengarah ke insulasi termal yang efisien (Ruckdeschel et al., 2017).

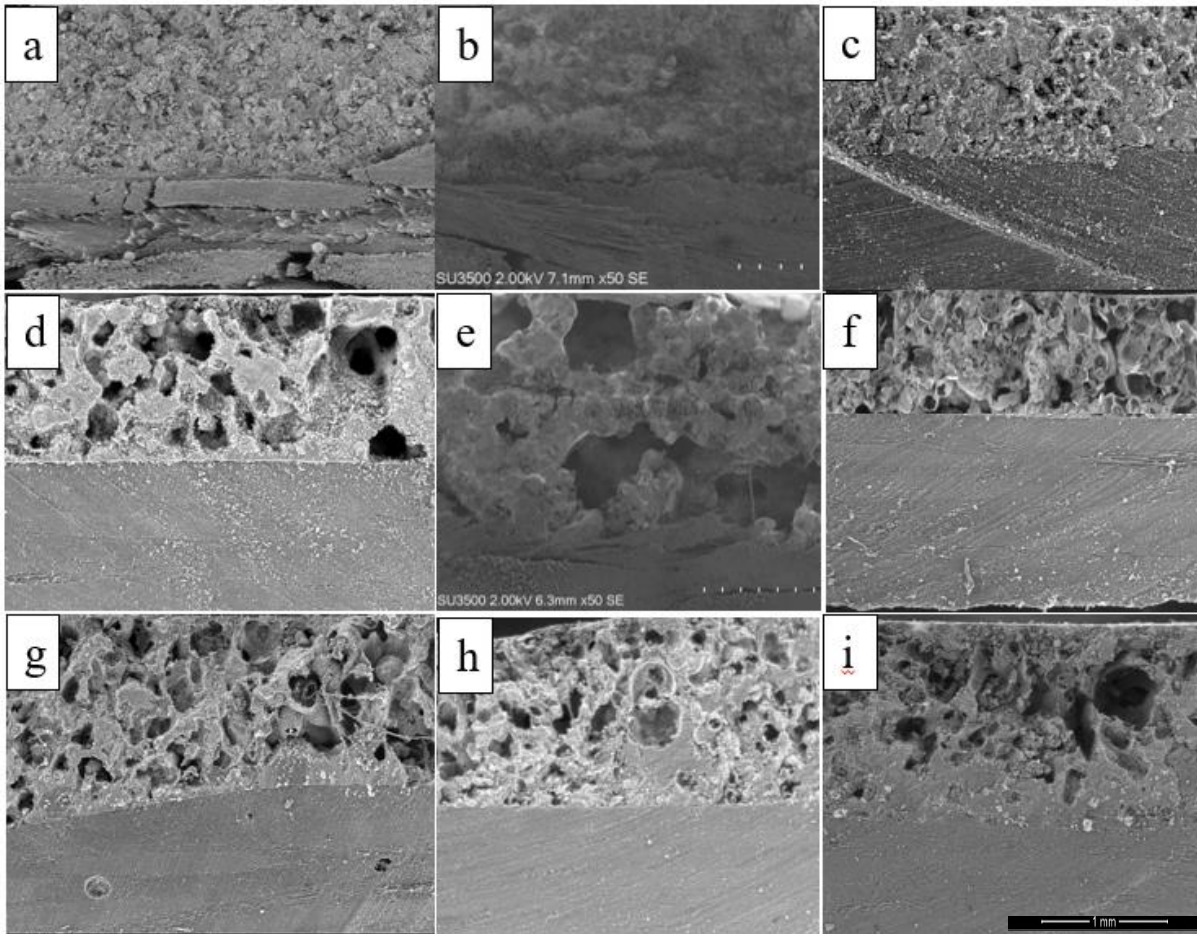
Untuk analisis pengaruh temperatur sendiri nilai konduktivitas termal terendah relatif pada temperatur 160°C. Fenomena ini terjadi karena proses pengeringan air dari binder berlangsung lebih cepat. Dikonfirmasi dari hasil pengujian TGA bahwa proses penguapan kandungan air terjadi hingga temperatur 220°C. Sehingga kandungan air dari *skin* lebih banyak yang menguap sehingga jumlah pori lebih banyak. Seperti yang dibahas sebelumnya keberadaan pori menghambat transmisi panas sehingga menurunkan konduktivitas termal material. Pada fraksi 2,75 memiliki nilai konduktivitas termal tertinggi disebabkan dari pengujian morfologi pori paling sedikit tiap temperatur adalah fraksi 2,75. Sehingga media rambatan panas semakin banyak dan isolasinya rendah.

4.2.3 Hasil Pengujian Morfologi

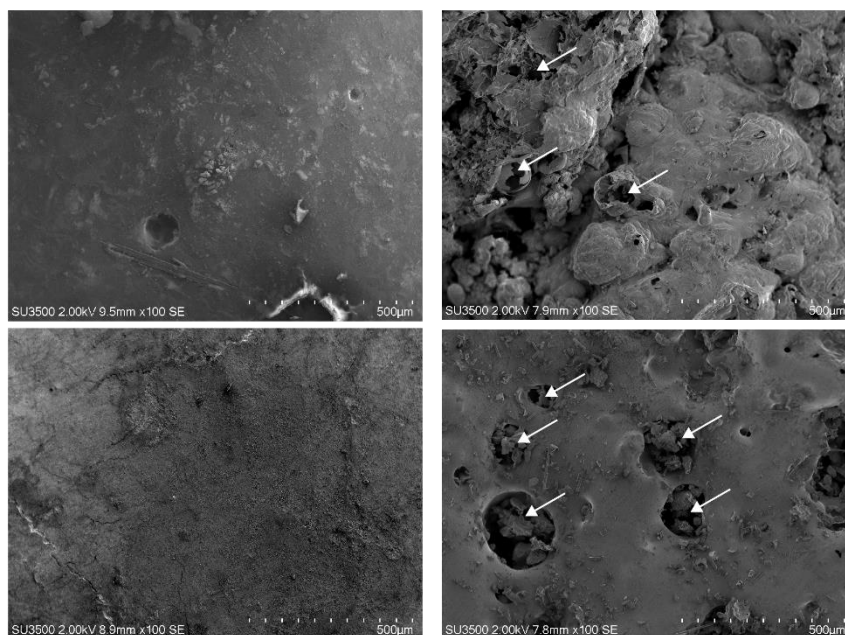
Pengujian morfologi menggunakan SEM dimaksudkan untuk mengetahui mikrostruktur dari *skin barrier* dan komposit CFRP yang dibuat. Morfologi penampang melintang ditunjukkan **Gambar 4. 7** dari atas ke bawah adalah temperatur 100°C, 130°C dan 160°C. Berdasarkan hasil pengamatan tampak semakin tinggi temperatur *hot pressing* maka semakin banyak pori dari *skin barrier*. Hal ini dapat disebabkan oleh proses penguapan yang terlihat pada **Gambar 4.9** bahwa proses pengeringan atau penguapan air terjadi pada temperatur 90-220°C. Sehingga waktu pengeringan spesimen SB160 lebih lama dan kandungan airnya yang banyak meninggalkan pori. Proses pengeringan binder menghasilkan gelembung yang saat solidifikasi bertransformasi menjadi pori pada *skin barrier* (Younsi et al., 2021). Pada data morfologi tampak pori terbanyak adalah pada spesimen dengan temperatur *hot press* tinggi yaitu 160°C.

Jika diamati berdasarkan komposisinya pada **Gambar 4. 7** dari kiri ke kanan ada lah fraksi *binder* 2,5; 2,75; dan 3. Tampak bahwa persebaran pori besar adalah fraksi massa 2,5 dan pori terbanyak adalah fraksi massa 3. Pada fraksi 2,5 spesimen sebelum *hot press* memiliki konsistensi yang paling kaku dan sulit untuk dicampurkan sehingga dapat terjadi aglomerasi binder saat proses pencampuran. Dalam proses *hot press*, pengupuan kandungan air aglomerat *binder* akan meninggalkan pori lebih besar karena air yang mengumpul banyak (Ali et al., 2021). Pada fraksi massa binder 3, jumlah binder yang digunakan terbanyak sehingga juga memiliki kandungan air yang banyak dan saat mengalami proses *hot press* air yang menguap akan meninggalkan pori.

Pengujian selanjutnya adalah perlakuan *termal torch* untuk mengetahui morfologi *skin barrier* saat terpapar temperatur tinggi secara pesat. Pengujian *thermal torch* menggunakan hasil pembakaran gas butana yang diukur temperaturnya menggunakan *thermocouple*. Saat temperatur dengan jarak tertentu sudah mencapai 800°C spesimen diberikan paparan api pembakaran selama 30 detik. Kemudian dilakukan analisis morfologi permukaan spesimen sebelum dan setelah perlakuan *thermal torch* seperti pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4. 6 Mokrastruktur penampang melintang *skin barrier* dan komposit CFRP (a) SB100/2,5; (b) SB100/2,75; (c) SB100/3; (d) SB130/2,5; (e) SB130/2,75 ;(f) SB130/3 ;(g) SB160/2,5 ;(h) SB160/2,75 ;(i) SB160/3

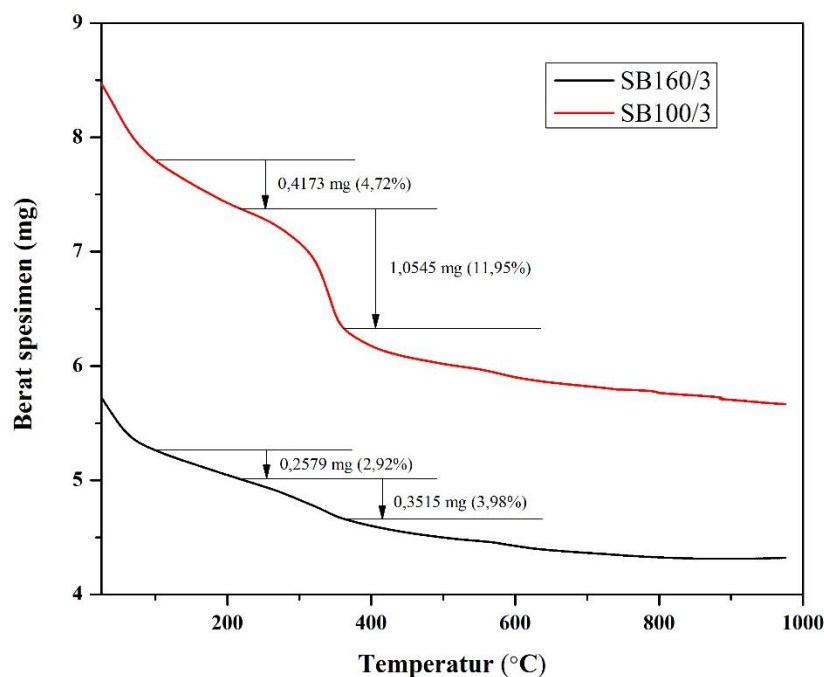


Gambar 4. 7 Morfologi skin (kiri) sebelum; (kanan) sesudah *thermal torch test*

Dari **Gambar 4. 8** terlihat perubahan morfologi sebelum dan sesudah diberi perlakuan termal. Tampak muncul pori/gelembung yang pecah (*cratering*) yang disebabkan penguapan kandungan air sisa dari binder saat terpapar temperatur tinggi. Menguapnya kandungan air kristal dalam *skin barrier* menyebabkan adanya fasa gas yang berusaha keluar dan tampak seperti gelembung yang pecah.

4.2.4 Hasil Pengujian *Thermal gravimetric analysis* (TGA)

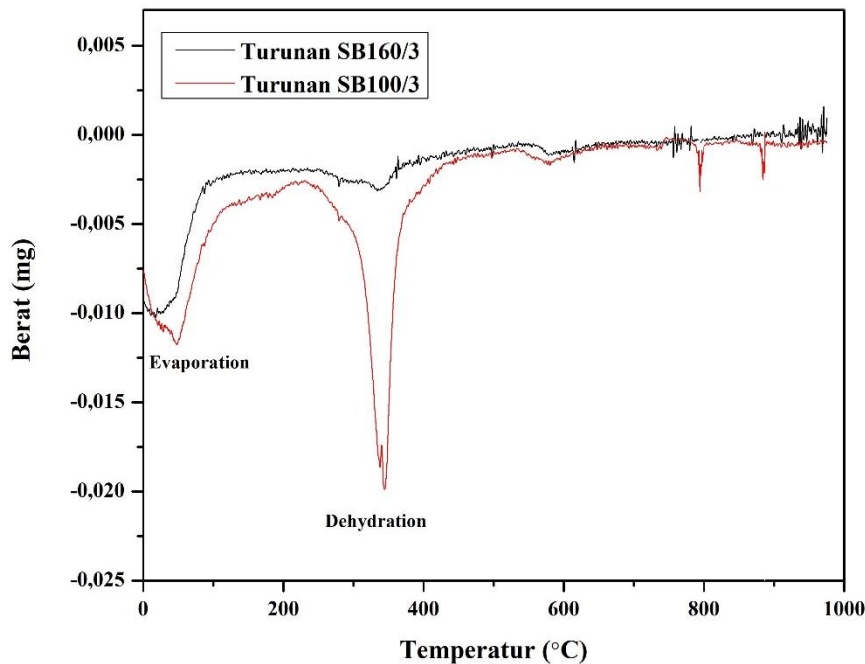
Pengujian ini ditujukan untuk menentukan stabilitas termal dari spesimen. Pengujian *Thermal gravimetric analysis* (TGA) dilakukan untuk spesimen keramik *skin barrier* dengan mesin TGA Mettler Toledo pada temperatur hingga 1000°C pada laju pemanasan konstan 10°C/menit dan total estimasi waktu uji 100 menit. Material spesimen yang diujikan adalah SB100/3 dan SB 160/3. Stabilitas termal dari kedua material tersebut ditunjukkan oleh **Gambar 4. 9** Pada grafik tampak fenomena utama yang terjadi yaitu tiga kali tren penurunan masa. Awalnya pada temperatur ruang hingga 100°C terjadi penurunan massa yang disebabkan oleh menguapnya pelarut dan *stabilizer* yang terkandung dalam binder. Dimana diketahui dari *technical data sheet* bahwa terkandung pelarut air, etanol, dan aseton dalam binder. Dimana etanol dan aseton menguap pada 78°C dan -95°C. Pada pemanasan sekitar temperatur 100-190°C terjadi penurunan 0,4173 mg atau 4,72% massa spesimen untuk spesimen SB160/2,5 dan 0,2579 mg atau 2,92% massa spesimen. Hal ini disebabkan oleh adanya proses pengeringan dari kandungan pelarut air dalam binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$.



Gambar 4. 8 Hasil pengujian TGA

Selanjutnya pada **Gambar 4. 10** temperatur 200-370°C terjadi penurunan massa disebabkan adanya penguapan kandungan air dari senyawa hidrat. Diketahui binder merupakan senyawa hidrat yaitu senyawa dengan air terikat dalam struktur kristal selama proses kristalisasi. Air terikat ini tidak bereaksi dengan senyawa utama namun hanya terperangkap dalam kristal. Penguapan air kristal ini menjadikan sodium silikat larut air (*liquid sodium silicate*) yang kandungan airnya telah menguap memadat menjadi sodium metasilikat. Diketahui dalam rentang 190-360°C adalah rentang optimal untuk sodium silikat bertransformasi menjadi sodium metasilikat (Heilig, 1994). Perbedaan dari sodium silikat dan

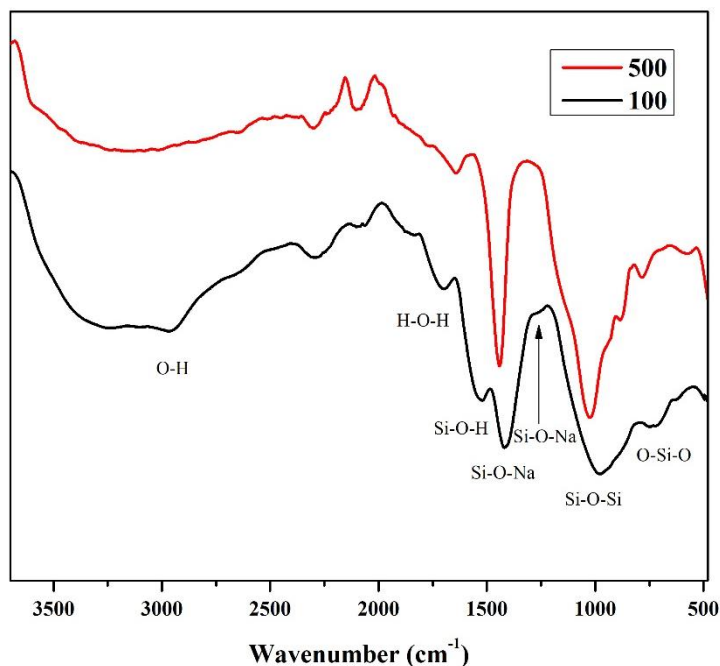
sodium metasilikat adalah sodium silikat mengacu pada ion silikat pada natrium sedangkan sodium metasilikat adalah jenis natrium silikat yang memiliki kation natrium dan anion SiO_3^{2-} . Dengan sodium silikat larut air, sodium metasilikat dapat diproduksi optimal pada 360-400°C (Mcrae et al., 2021). Adanya dekomposisi ini menyebabkan penurunan massa karena struktur kristal sodium metasilikat memadat (*compact*) sehingga tidak ada air maupun udara lagi yang terperangkap di pori *skin barrier*.



Gambar 4. 9 Grafik turunan pertama TGA SB160/2,5 dan SB160/3

4.2.5 Hasil Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui perubahan senyawa sebelum dan setelah proses pemanasan. Pengujian dilakukan pada spesimen setelah di hotpress dan setelah diberi perlakuan *thermal torch* hingga temperatur 500°C. Berdasarkan analisis hasil FTIR ditunjukkan pada Gambar 4. Tampak bahwa untuk gugus fungsi spesimen setelah didiberi perlakuan *hotpress* dan setelah proses *torch* memiliki 2 daerah yaitu daerah gugus fungsi (*wavenumber*>1550) dan daerah *fingerprint* (*wavenumber*<1550). Pada daerah gugus fungsi terdapat satu *peak* yang diidentifikasi sebagai gugus fungsi O-H pada puncak 3068 cm^{-1} . Memasuki area *fingerprint* spesimen *hot press* 160°C pada *wavenumber* 1718 cm^{-1} terdapat gugus Si-O-H mengindikasikan terdapat kandungan air terikat silikon dimana air sebagai pelarut. Gugus fungsi tersebut kemudian tidak muncul lagi pada spesimen *torch* pada 500°C karena air pelarut sepenuhnya menguap. Pada puncak 1725 cm^{-1} terdapat gugus H-O-H untuk spesimen *hot press* 160°C dan tidak muncul pada spesimen *torch* 500 merupakan indikasi bahwa air kristal atau hidrat telah menguap setelah proses *torch*. Selanjutnya pada *peak* 1391 cm^{-1} spesimen *hot press* 160°C dan 1419 cm^{-1} spesimen *torch* pada 500°C merupakan Si-O-Na mengindikasikan terdapat Si dan O yang diikat oleh Na sebagai unsur penyusun utama *binder*. Pada puncak 988 cm^{-1} kedua spesimen mengindikasikan adanya gugus Si-O-Si dan puncak 730 cm^{-1} terdapat gugus fungsi O-Si-O pada kedua spesimen. Hal ini menunjukkan bahwa dengan perlakuan *torch* ikatan tersebut tidak mengalami perubahan.



Gambar 4. 10 Analiaais FTIR spesimen setelah *hotpress* pada 160°C dan *torch* pada 500°C

4.3 Tabulasi karakteristik *skin barrier*

Hasil pengujian penelitian ini disajikan pada **Tabel 4.1** berikut dan disajikan data pembading

Tabel 4. 2 Tabulasi karakterisasi *skin barrier*

Spesimen	Konduktivitas termal (W/mK)	Temperatur akhir (°C)	Daya lekat (MPa)	QC
Standar	3,37*	~300°C**	0,3-1,5***	Standar
SB100/2,5	0,4438	301,25	0,733	X
SB100/2,75	0,5043	373,56	0,797	X
SB100/3	0,3100	253,18	0,640	√
SB130/2,5	0,2277	159,30	0,567	√
SB130/2,75	0,2687	235,02	0,780	√
SB130/3	0,2220	191,24	0,523	√
SB160/2,5	0,1697	67,91	0,507	√
SB160/2,75	0,2046	152	0,767	√
SB160/3	0,1605	46,45	0,533	√

*diambil dari penelitian sebelumnya (Kim et al., 2021)

**diambil dari ketahanan termal resin epoksi (Kim et al., 2021)

***diambil dari pengujian material keramik sejenis (Lopes et al., 2015)

Berdasarkan tabulasi data pada **Tabel 4.1** dapat diketahui bahwa dalam aplikasinya untuk melindungi CFRP *skin barrier* harus mampu menurunkan temperatur hingga maksimum 300°C. Hasil analisis menunjukkan *skin barrier* dengan fraksi massa keramik dan binder 1:2,5; 1:2,75; 1:3 yang diberi perlakuan *hot press* pada temperatur 130 dan 160 serta fraksi 1:3 pada temperatur 100 sesuai dengan kualifikasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut:

1. Kenaikkan fraksi massa binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ menurunkan konduktivitas termal material dengan nilai konduktivitas termal terendah adalah SB160/3 yaitu 0,1605 W/mK yang menyebabkan penurunan temperatur dari 500°C ke 46,45°C. Daya lekat terbaik ketiga spesimen SB pada masing-masing temperatur adalah komposisi 1:2,75 dengan nilai 0,797 MPa.
2. Kenaikkan temperatur *curing* proses *hot pressing* Al_2O_3 dengan binder $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ menurunkan konduktivitas termal material dengan nilai konduktivitas termal terendah adalah SB160/3 yaitu 0,1605 W/mK yang menyebabkan penurunan temperatur dari 500°C ke 46,45°C. Daya lekat dari struktur lapisan *skin barrier* keramik Al_2O_3 dengan nilai daya lekat optimum pada temperatur 100°C yaitu 0,797 MPa.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut:

1. Mencoba penelitian dengan *binder* jenis lain seperti kalium silikat.
2. Mencoba penelitian dengan bahan serbuk keramik lain seperti YSZ, ZrO_2 , dan lain-lain
3. Menggunakan metode berbeda untuk memproduksi *skin barrier*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S., Ali, S., Salman, M., & Baluch, A. H. (2021). A comparative study on the effect of carbon-based and ceramic additives on the properties of fiber reinforced polymer matrix composites for high temperature applications. *Ceramics International*, 47(24), 33956–33971. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.08.356>
- Ahuja, S., & Scypinski, S. (2001). Preformulation studies. In *Handbook of Modern Pharmaceutical Analysis Edited by Satinder Ahuja, Stephen Scypinski* (pp. 173–233). [https://doi.org/10.1016/S0149-6395\(01\)80007-6](https://doi.org/10.1016/S0149-6395(01)80007-6)
- Akulova, M. V., Slizneva, T. E., Sokolova, Y. A., & Sokolova, A. G. (2019). Nanostructuring sodium silicate solutions applied as binding substance of molding sands in foundry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 560(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/560/1/012136>
- Ali, M. M., Nion, M., & Rahman, M. S. (2021). *Effects of Binder on Physical and Mechanical Properties on Unglazed Ceramic Journal of Engineering and Applied Science Effects of Binder on Physical and Mechanical Properties on Unglazed Ceramic Tiles. June 2020.*
- Anjaneyulu, B., Rao, G. N., & Rao, K. P. (2020). Development, mechanical and tribological characterization of Al₂O₃ reinforced ZrO₂ ceramic composites. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 584–591. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.594>
- ASTM International. (2017). ASTM D4541-17, Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. *ASTM International*, 1–16. <https://doi.org/10.1520/D4541-17.2>
- Atlas, F., Cookson, M. D., & Stirk, P. M. R. (2019). *Coating Defects.*
- Bafakeeh, O. T., Shewakh, W. M., Abu-Oqail, A., Abd-Elaziem, W., Abdel Ghafaar, M., & Abu-Okail, M. (2021). Synthesis and characterization of hybrid fiber-reinforced polymer by adding ceramic nanoparticles for aeronautical structural applications. *Polymers*, 13(23). <https://doi.org/10.3390/polym13234116>
- Bulletin, T. (2000). *HIGH TEMPERATURE INORGANIC BINDERS Technical Bulletin All Aremco 's Ceramabind™ materials are unique inorganic , water-based binder systems used in the formulation of specialty adhesives , coatings , sealants and putties for applications to 3200 °F . Th. 3200(1760).*
- Cheng, L., Sun, M., Ye, F., Bai, Y., Li, M., Fan, S., & Zhang, L. (2018). Structure design, fabrication, properties of laminated ceramics: A review. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 1(3), 126–141. <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2018.08.002>
- Damayanti, M., Gan, Z. H., Sritharan, T., Mhaisalkar, S. G., Naman, A., Widodo, J., & Tan, H. S. (2006). Effect of porosity and adhesion promoter layer on adhesion energy of nanoporous inorganic low-κ. *Thin Solid Films*, 504(1–2), 213–217. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2005.09.190>
- Du, W., Ren, X., Pei, Z., & Ma, C. (2020). Ceramic Binder Jetting Additive Manufacturing: A Literature Review on Density. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 142(4), 1–66. <https://doi.org/10.1115/1.4046248>
- Fryburg, G., Powhida, G., & Hirtle, A. (1990). *Ceramic Manufacturing.*
- Golewski, P., & Sadowski, T. (2019). Description of thermal protection against heat transfer of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) coated by stiffened ceramic mat (TBC). *Composite Structures*, 229(July), 111489. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111489>
- Golewski, Przemysław, & Sadowski, T. (2018). A novel application of alumina fiber mats as TBC protection for CFRP/epoxy laminates –Laboratory tests and numerical modeling. *Journal of the European Ceramic Society*, 38(8), 2920–2927.

- <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.01.008>
- He, L., Sun, Y., Liu, M., & Meng, Q. (2020). Effect of the addition of short carbon fiber on thermal insulation properties of zrb2-sic hot-pressed ceramics. *Materials Science Forum*, 993 MSF, 785–790. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.993.785>
- He, Z., & Ma, J. (2000). Grain-growth rate constant of hot-pressed alumina ceramics. *Materials Letters*, 44(1), 14–18. [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(99\)00289-X](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(99)00289-X)
- Heilig, M. L. (1994). United States Patent Office. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 28(2), 131–134. <https://doi.org/10.1145/178951.178972>
- Ho, C. Y., Powell, R. W., & Liley, P. E. (1968). Thermal Conductivity of Selected Materials, Part 2. *Nsrds-Nbs 16*, 168.
- Holman, J. P. (Jack P., & E. Jasjfi. (1988). *Perpindahan kalor* (Sixth). Erlangga.
- Hong, S. N., Yu, C. J., Hwang, U. S., Kim, C. H., & Ri, B. H. (2020). Effect of porosity and temperature on thermal conductivity of jennite: A molecular dynamics study. *Materials Chemistry and Physics*, 250(February), 123146. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123146>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2019). Envisioning a “Zero Climate Impact” International Aviation Pathway Towards 2050: How Governments and the Aviation Industry Can Step-Up Amidst the Climate Emergency for a Sustainable Aviation Future. *International Civil Aviation Organization*.
- Iqbal, M. (2022). *Penampakan Roket RX-1220 yang akan Orbitkan Satelit Indonesia di Tahun 2045*. <https://www.kilat.com/news/29261/penampakan-roket-rx-1220-yang-akan-orbitkan-satelit-indonesia-di-tahun-2045>
- Izzaty, R. E., Astuti, B., & Cholimah, N. (1967). Guide to Structural Composites. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 5–24.
- Jia, Y., Ajayi, T. D., Ramakrishnan, K. R., Negi, A., Liu, J., Ekkad, S., & Xu, C. (2020). A skin layer made of cured polysilazane and yttria stabilized zirconia for enhanced thermal protection of carbon fiber reinforced polymers (CFRPs). *Surface and Coatings Technology*, 404(October). <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126481>
- Johnson JW. (1980). *Resin matrices and their contribution to composite properties*. Phil Trans R Soc Lond.
- Kim, H., Kim, J., Lee, J., & Lee, M. W. (2021). Thermal barrier coating for carbon fiber-reinforced composite materials. *Composites Part B: Engineering*, 225, 109308. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109308>
- Könnicke, D., Kühn, A., Mahrholz, T., & Sinapius, M. (2011). Polymer nanocomposites based on epoxy resin and ATH as a new flame retardant for CFRP: Preparation and thermal characterisation. *Journal of Materials Science*, 46(21), 7046–7055. <https://doi.org/10.1007/s10853-011-5673-7>
- Liu, B., Liu, Y., Zhu, C., Xiang, H., Chen, H., Sun, L., Gao, Y., & Zhou, Y. (2019). Advances on strategies for searching for next generation thermal barrier coating materials. *Journal of Materials Science and Technology*, 35(5), 833–851. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2018.11.016>
- Lopes, A. C., Flores-Colen, I., & Silva, L. (2015). Variability of the pull-off technique for adhesion strength evaluation on ceramic tile claddings. *Journal of Adhesion*, 91(10–11), 768–791. <https://doi.org/10.1080/00218464.2014.999366>
- Luangtriratana, P., Kandola, B. K., & Myler, P. (2015). Ceramic particulate thermal barrier surface coatings for glass fibre-reinforced epoxy composites. *Materials and Design*, 68, 232–244. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.11.057>
- Marquardt, T., Momber, A. W., & Kelm, D. (2022). *International Journal of Adhesion and Adhesives Fractal dimensions of blast-cleaned steel surfaces and their effects on the*

- adhesion of polymeric foil systems with integrated pressure-sensitive adhesives. 118(June).*
- Mcrae, J. C., Smith, M. A., Duncan, B. P., Holihan, E., Liberman, V., Rock, C., Beck, D., & Racz, L. M. (2021). Sodium Metasilicate-Based Inorganic Composite for Heterogeneous Integration of Microsystems. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 11(1), 144–152. <https://doi.org/10.1109/TCPMT.2020.3043367>
- Merck, & Forster, S. (2021). *1.01095.1000 Aluminium oxide anhydrous (γ -alumina).*
- Mishra, S. (2013). *Effect of Different Bonding Agents on Sintering. May.*
- Muthukumar, C., Krishnasamy, S., Thiagamani, S. M. K., Jeyaguru, S., Siengchin, S., & Nagarajan, R. (2021). Polymers in Aerospace Applications. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820352-1.00077-8>
- Nishikawa, Y., Okubo, K., Fujii, T., & Kawabe, K. (2006). Fatigue crack constraint in plain-woven CFRP using newly-developed spread tows. *International Journal of Fatigue*, 28(10 SPEC. ISS.), 1248–1253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2006.02.010>
- Osipchik, V. S., Egorov, A. S., Anokhin, A. S., Olikhova, Y. V., & Osipchik, V. V. (2021). Binder and polymeric-ceramic material filled with nanosized Al₂O₃. *Journal of Physics: Conference Series*, 1758(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1758/1/012027>
- Park, S. J. (2018). Novel carbon fibers and their composites. In *Springer Series in Materials Science* (Vol. 210). https://doi.org/10.1007/978-981-13-0538-2_9
- Ramos, N. M. M., Simões, M. L., Delgado, J. M. P. Q., & De Freitas, V. P. (2012). Reliability of the pull-off test for in situ evaluation of adhesion strength. *Construction and Building Materials*, 31, 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.097>
- Rezzoug, A., Abdi, S., Kaci, A., & Yandouzi, M. (2018). Thermal spray metallisation of carbon fibre reinforced polymer composites: Effect of top surface modification on coating adhesion and mechanical properties. *Surface and Coatings Technology*, 333(November 2017), 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.10.066>
- Rickerby, D. S. (n.d.). A REVIEW OF THE METHODS FOR THE MEASUREMENT OF COATING-SUBSTRATE ADHESION. *Surface and Coatings Technology*, 36(ثق ثقثقثق), ثقثقثقثق.
- Ruckdeschel, P., Philipp, A., & Retsch, M. (2017). Understanding Thermal Insulation in Porous, Particulate Materials. *Advanced Functional Materials*, 27(38), 1–11. <https://doi.org/10.1002/adfm.201702256>
- Salahudeen, N. (2016). *CHARACTERIZATION OF SODIUM SILICATE PREPARED FROM KANKARA CHARACTERIZATION OF SODIUM SILICATE PREPARED. May.*
- Santhosh Kumar, S., Devaiah, M., Seshu Bai, V., & Rajasekharan, T. (2012). Mechanical properties of SiC p/Al₂O₃ ceramic matrix composites prepared by directed oxidation of an aluminum alloy. *Ceramics International*, 38(2), 1139–1147. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.08.042>
- Schetz, J. A. (1801). *Composite Materials for Aircraft Structures Second Edition IId A ! A A ~ EDUCATION SERIES.*
- Shackelford, J. F., & Doremus, R. H. (Eds.). (2008). *Ceramic and Glass Materials*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-73362-3>
- Shanefield, D. J. (1995). Organic Additives and Ceramic Processing. In *Organic Additives and Ceramic Processing*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-6103-0>
- Sinha, N. K., Choudhary, I. N., & Singh, J. K. (2021). Influence of Mold Material on the Mold Stability for Foundry Use. *Silicon*, 1. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01070-y>
- Sithebe, H. S. L., McLachlan, D. S., Sigalas, I. J., & Herrmann, M. (2006). *Hot pressing of*

- cBN Ceramics with Al Binder. *11th International Ceramics Congress*, 45, 1364–1370. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ast.45.1364>
- Srinivas, K., & Bhagyashekar, M. S. (2021). Prediction of Mechanical properties of Epoxy composites containing mono and hybrids particulate fillers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1189(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1189/1/012003>
- Stewart, R. (2009). Carbon fibre composites poised for dramatic growth. *Reinforced Plastics*, 53(4), 16–21. [https://doi.org/10.1016/S0034-3617\(09\)70148-1](https://doi.org/10.1016/S0034-3617(09)70148-1)
- Streitberger, H.-J., & Goldschmidt, A. (2019). BASF Handbook Basics of Coating Technology. In *BASF Handbook Basics of Coating Technology*. <https://doi.org/10.1515/9783748600251>
- THOMAS, A. G., & JONES, H. J. (1960). *HOT PRESSING OF CERAMIC POWDERS*. *Powder Metallurgy*, 3(6), 160–169. <https://doi.org/10.1179/pom.1960.3.6.010>
- Valsiliev, V. V., & Morozov, E. V. (2001). Mechanics and Analysis of Composite Materials. First Edition. In *Elsevier*.
- Younesi, M., Ebrahim, M., & Bahrololoom, H. F. (2010). Influence of *hot pressing* parameters on mechanical properties of PP-HA bio-composites. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings*, 14, 93–100. <https://doi.org/10.1115/IMECE2009-13148>
- Younsi, A., Cherif, R., Trabelsi, A., Hamami, A. E. A., Belarbi, R., & Aït-Mokhtar, A. (2021). Hydration-drying interactions in a high-volume ground granulated blast-furnace slag mortar. *Construction and Building Materials*, 279, 122427. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122427>
- Zhang, K., Li, Y., Yan, H., Wang, C., Li, H., Liang, J., & Dang, J. (2021). *Effect of Sintering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Hot-Pressed Fe/FeAl₂O₄ Composite*. 1–9.
- Zhu, C., Su, Y., Zhang, D., & Ouyang, Q. (2020). Effect of Al₂O₃ coating thickness on microstructural characterization and mechanical properties of continuous carbon fiber reinforced aluminum matrix composites. *Materials Science and Engineering A*, 793, 139839. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139839>

LAMPIRAN

Tabel 1 Data kekuatan lekat

Sampel	A (MPa)	% Kohesi	B (MPa)	% Kohesi	C (MPa)	% Kohesi	Rata-rata (MPa)
SB100/2,5	0,73	44,62	0,81	62,32	0,66	66,5	0,733
SB100/2,75	0,71	62,5	0,86	55,81	0,82	42,82	0,797
SB100/3	0,55	63,42	0,73	43,91	0,64	47,81	0,640
SB130/2,5	0,52	64,08	0,69	30,74	0,49	29,34	0,567
SB130/2,75	0,88	31,62	0,62	31,22	0,84	30,17	0,780
SB130/3	0,52	24,45	0,44	28,71	0,61	32,42	0,523
SB160/2,5	0,54	62,54	0,49	66,81	0,49	31,68	0,507
SB160/2,75	0,83	60,88	0,67	60,92	0,8	50,29	0,767
SB160/3	0,53	22,8	0,48	29,12	0,59	23,6	0,533

Perhitungan Two Way ANOVA *with replication* menggunakan aplikasi SPSS dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing variasi beserta pengulangannya. Digunakan nilai alfa 0,05 dengan taraf kepercayaan 95%

1. Pengujian normalitas untuk mengetahui distribusi data

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for Adhesive_strength	.107	27	.200*	.964	27	.461

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Panduan : Jika nilai Sig. > alpha, maka Standardized Residual nya terdistribusi normal, jika nilai Sig. < alpha maka Standardized Residual nya tidak terdistribusi normal

Karena nilai Sign = 0.461, dimana 0.461 > 0.05, maka bisa disimpulkan Standardized Residual nya terdistribusi normal.

2. Terdapat 3 nilai temperatur dan fraksi massa dengan jumlah data masing-masing 9 nilai.

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Temperature	1	100	9
	2	130	9
	3	160	9
Mass fraction	1	2.5	9
	2	2.75	9
	3	3	9

3. Rata-rata data dan standar deviasi data

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Adhesive strength

Temperature	Mass fraction	Mean	Std. Deviation	N
100	2.5	.7333	.07506	3
	2.75	.7967	.07767	3
	3	.6400	.09000	3
	Total	.7233	.09798	9
130	2.5	.5667	.10786	3
	2.75	.7800	.14000	3
	3	.5233	.08505	3
	Total	.6233	.15419	9
160	2.5	.5067	.02887	3
	2.75	.7933	.10970	3
	3	.5333	.05508	3
	Total	.6111	.15095	9
Total	2.5	.6022	.12194	9
	2.75	.7900	.09734	9
	3	.5656	.08791	9
	Total	.6526	.14108	27

4. Levene's test of Equality of Error (Uji Homogenitas)

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Adhesive strength	Based on Mean	1.191	8	18	.357
	Based on Median	.269	8	18	.968
	Based on Median and with adjusted df	.269	8	10.039	.962
	Based on trimmed mean	1.094	8	18	.411

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: Adhesive strength

b. Design: Intercept + Temperature + Mas_Fraction + Temperature * Mas_Fraction

Panduan : Jika nilai sign > alpha, maka asumsi adalah homogen, Jika nilai sign < alpha, maka asumsi adalah tidak homogen

Kesimpulan : karena nilai sig. based on mean, median, median (adjusted df), dan trimmed mean = 0.357 dan $0.357 > 0.05$, maka diasumsikan datanya adalah homogen

5. Hasil two way ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Adhesive strength

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.369 ^a	8	.046	5.604	.001
Intercept	11.499	1	11.499	1395.973	.000
Temperature	.068	2	.034	4.142	.033
Mas_Fraction	.261	2	.130	15.839	.000
Temperature * Mas_Fraction	.040	4	.010	1.217	.338
Error	.148	18	.008		
Total	12.016	27			
Corrected Total	.518	26			

a. R Squared = .714 (Adjusted R Squared = .586)

Panduan: Jika nilai sign > alpha, maka fail to Reject H₀, tidak ada perbedaan yang signifikan, Jika nilai sign < alpha, maka Reject H₀, ada perbedaan yang signifikan

Kesimpulan :

1. Untuk temperatur *hot pressing*, Sig. adalah 0,033 dimana $0.033 < 0.05$, maka reject Ho, ada perbedaan hasil yang **signifikan** berdasarkan temperatur *hot pressing*.
2. Untuk fraksi massa nilai Sig, adalah 0,000 dimana $0.000 < 0.05$, maka reject Ho, ada perbedaan hasil yang **signifikan** berdasarkan fraksi massa.
6. Untuk interaksi antara temperatur *hot pressing* dan fraksi massa, nilai Sig. adalah 0,338 dimana $0.338 > 0.005$, maka fail to reject Ho, tidak ada perbedaan nilai yang signifikan berdasarkan interaksi antara temperatur *hot pressing* dan fraksi massa.
7. Homogeneous subset pada 2 faktor yaitu temperatur dan fraksi massa
 - a. Fraksi massa

Homogeneous Subsets

Adhesive strength

	Mass fraction	N	Subset	
			1	2
Tukey HSD ^{a,b}	3	9	.5656	
	2.5	9	.6022	
	2.75	9		.7900
	Sig.		.673	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .008.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

Kesimpulan: terdapat sel kosong pada subset 1 mau pun 2 untuk 3 variasi fraksi massa sehingga fraksi massa 2,5; 2,75; dan 3 berpengaruh pada daya lekat.

b. Temperatur *hot pressing*

Homogeneous Subsets

Adhesive strength

	Temperature	N	Subset	
			1	2
Tukey HSD ^{a,b}	160	9	.6111	
	130	9	.6233	.6233
	100	9		.7233
	Sig.		.956	.076

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .008.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

Kesimpulan: terdapat sel kosong pada subset 1 mau pun 2 untuk variasi temperatur *hot pressing* 100 dan 160 sehingga Temperatur *hot pressing* 100 dan 160 berpengaruh pada daya lekat.

Tabel 3 Hasil pengujian konduktivitas termal

No	Nama Bahan	Konduktivitas Termal (W/mK)
1	SB100/2,5	0,4438
2	SB100/2,75	0,5043
3	SB100/3	0,3100
4	SB130/2,5	0,2277
5	SB130/2,75	0,2687
6	SB130/3	0,2220
7	SB160/2,5	0,1697
8	SB160/2,75	0,2046
9	SB160/3	0,1605

Data konduktivitas termal digunakan untuk memprediksi temperatur akhir mengenai CFRP.

Langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai q melalui eksperimen

Digunakan spesimen SB160/2,75 sebagai standar

q = laju perpindahan panas konduksi (W atau J/s)

k = konduktivitas termal = 0,2046 W/mK

T_{awal} = Temperatur mengenai benda = 500 °C = 773 K

T_{awal} = Temperatur mengenai CFRP = 152 °C = 425 K

Y = tebal lapisan = 1,34 mm = 0,00134 m

A = luas penampang uji = 0,0644 m²

Fourier's law of heat conduction

$$q = k \frac{A \Delta T}{Y}$$

$$q = \frac{A (T_{awal} - T_{akhir})}{Y/k}$$

$$q = \frac{0,0644 (773 - 425)}{0,00134/0,2046}$$

$$q = 3421,889194 \text{ W}$$

2. Menggunakan nilai q untuk mempresiksi T akhir pada spesimen lain

$$q = k \frac{A \Delta T}{Y}$$

$$q = \frac{A (T_{awal} - T_{akhir})}{Y/k}$$

$$T_{awal} - T_{akhir} = \frac{q \cdot Y}{A \cdot k}$$

$$T_{akhir} = T_{awal} - \frac{q \cdot Y}{A \cdot k}$$

$$T_{akhir} \text{ SB100/2,5} = 773 - \frac{3421,889194 \cdot 0,00166}{0,0644 \cdot 0,4438}$$

$$T_{akhir} \text{ SB100/2,5} = 574,2529K = 301,25^{\circ}\text{C}$$

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DA METALURGI



3. Data temperatur akhir untuk spesimen lin disajikan pada tabel berikut

No	Nama Bahan	Konduktivitas Termal (W/mK)	q (J/s)	T awal (K)	Luas (m ²)	Tebal lapisan (m)	T akhir (K)	T akhir (°C)
1	SB100/2,5	0,4438				0,00166	574,2529	301,25
2	SB100/2,75	0,5043				0,0012	646,5635	373,56
3	SB100/3	0,31				0,00144	526,1797	253,18
4	SB130/2,5	0,2277				0,00146	432,3018	159,30
5	SB130/2,75	0,2687	3421,889194	773	0,0644	0,00134	508,0175	235,02
6	SB130/3	0,222				0,00129	464,2430	191,24
7	SB160/2,5	0,1697				0,00138	340,9069	67,91
8	SB160/2,75	0,2046				0,00134	425	152
9	SB160/3	0,1605				0,00137	319,4495	46,45

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mengerjakan laporan penelitian tugas akhir ini, penulis juga mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu. Diantaranya:

5. Ibu Vania Mitha, ST., MT., selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
6. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
7. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. (Eng)., Ph.D selaku dosen wali.
8. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-RS ITS.
9. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan mental, material, dan doa kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
10. Seluruh dosen dan tendik Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah memfasilitasi pendidikan selama masa kuliah
11. Sobat CFRP (Wafiq dan mas Adhy) yang senantiasa berkontribusi waktu, tenaga dan pikiran selama pengerjaan tugas akhir.
12. Tim workshop rekayasa material dan teknologi pertahanan FT-IRS TOS (Jauhari Azhar, Mba Ninik, Mas Adhy, Mas Anyun, dan Mas Sugi)
13. Matahati family yang selalu saling mendukung untuk mencapai keberhasilan bersama. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua yang membutuhkan.

Surabaya, 5 Juli 2022

Penulis

Serly Hardiyanti

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama Serly Hardiyanti lahir di Jepara, 24 Oktober 1999. Penulis menempuh pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 1 Talun dan pendidikan sarjana di Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama kuliah penulis aktif dalam kegiatan organisasi kampus sebagai Kepala Departemen Scientific and Professional Competencies Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi ITS tahun kepengurusan 2021 hingga menghantarkan HMMT FTI-ITS sebagai *Best HMD in Research and Technology* serta aktif dalam kegiatan Silver Parade sebagai Koordinator sub-event *Silver Great Games* pada tahun 2021.

Penulis aktif dalam kegiatan profesional keprofesian melalui Laboratorium yang ada di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS yaitu sebagai grader (asisten) Metalurgi dan *Heat Treatment* pada tahun 2020-2022 serta aktif dalam kegiatan internasionalisasi dengan mengikuti 6 bulan *Global Project-based Learning* ITS-SOKA University, Jepang. Penulis juga memiliki pengalaman profesional keprofesian melalui Program Prioritas Riset Nasional ITS-BRIN-LAPAN dalam mengembangkan *Nosecone* Roket sonde 2 tingkat RX-450 dengan metode *Thermal Barrier Coating* pada material AISI 4340 dan Hastelloy C276. Email: hardiantisherly@gmail.com dan linkedin: <https://www.linkedin.com/in/serlyhardiyanti/>